

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh konstrukce vnitřního chlazení u čelních fréz
Design of Milling Cutter Internal Cooling

Student:

Bc. Lubomír Diviš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lubomír Diviš**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh konstrukce vnitřního chlazení u čelních fréz**
Design of Milling Cutter Internal Cooling

Zásady pro vypracování:

1. Řešení stávajících řešení chlazení u čelních fréz typu "C".
2. Požadavky na systém chlazení.
3. Návrh konstrukce včetně zpracování výkresové dokumentace.
4. Pevnostní kontrola navržené konstrukce.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A.; PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. *MM Průmyslové spektrum. Speciální vydání*, 2004, 110 s. ISSN 1212-2572.
[2] LEOPOLD, J. *Werkzeuge für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung*. Carl Hanser Verlag München Wien, 1999, 300 s. ISBN 3-446-2172-5.
[3] JÍLEK, A.; HOLUBÁŘ, P.; ŠÍMA, M. PVD povlaky na nástrojích ze slinutého karbidu. In *Sborník přednášek semináře Obráběcí nástroje Ostrava*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004, s. 19-25.
[4] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. 1. vydání, Praha : MM publishing, s.r.o., 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
[5] NORMY, PROSPEKTY, KATALOGY.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Ivan Mrkvica**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jan Vlček

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě 21. 5. 2012


.....
podpis studenta

**Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 5. 2012


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Lubomír Diviš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bohdíkov 72

789 64 Bohdíkov



SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	7
1 ÚVOD	9
2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	10
3 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU.....	11
3.1 O SPOLEČNOSTI PRAMET TOOLS, S.R.O., ŠUMPERK.....	12
3.1.1 Historie firmy.....	12
3.1.2 Působení firmy dnes	13
3.1.3 Výzkum a vývoj.....	13
3.1.4 Logistika a obchod	14
3.1.5 Výrobní sortiment	14
4 REŠERŠE STÁVAJÍCÍCH ŘEŠENÍ CHLAZENÍ U ČELNÍCH FRÉZ TYPU „C“	16
4.1 FRÉZOVÁNÍ	16
4.1.1 Nejběžnější frézovací operace z hlediska použití řezného nástroje:.....	17
4.1.2 Rozeznáváme dva základní způsoby frézování:	17
4.1.3 Směr frézování:	18
4.1.4 Řezná rychlost v_c :.....	18
4.2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE	19
4.2.1 Rozdělení dle umístění břitu	19
4.2.2 Rozdělení podle tvaru zubů	20
4.2.3 Dělení dle upínání fréz	20
4.2.4 Dělení podle průběhu ostří zubů frézy	21
4.2.5 Rozdělení dle smyslu otáčení frézy	21
4.2.6 Dělení dle konstrukce.....	21
4.3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY.....	22
4.4 NÁSTRČNÉ ČELNÍ FRÉZY S UPÍNÁNÍM TYPU „C“ PRO TĚŽKÉ HRUBOVÁNÍ	22
4.4.1 Obecná charakteristika čelní frézy pro těžké hrubování.....	23
4.4.2 Konstrukce upínání typu „C“	25
4.5 KONKURENČNÍ ŘEŠENÍ VNITŘNÍHO CHLAZENÍ ČELNÍCH FRÉZ S UPÍNÁNÍM TYPU „C“	27
4.5.1 Konstrukce chlazení od firmy Walter AG.....	27
4.5.2 Konstrukce chlazení od firmy Sandvik Coromant	28
5 POŽADAVKY NA SYSTÉM CHLAZENÍ.....	29
5.1 ÚČINKY ŘEZNÉHO PROSTŘEDÍ	29
5.1.1 Mazací účinek	29



5.1.2	Chladicí účinek	30
5.1.3	Čistící účinek	30
5.1.4	Ochranný účinek	31
5.1.5	Řezný účinek	31
5.2	ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH KAPALIN	32
5.3	CHLADÍCÍ KAPALINA	32
5.4	PŘÍVOD ŘEZNÉ KAPALINY	33
5.4.1	Přívod samospádem z výtokové trubice	33
5.4.2	Přívod pod tlakem z výtokové hadice	33
5.4.3	Přívod tryskou tvorba mlhy	33
5.4.4	Přívod vnitřkem tělesa nástroje	34
5.5	TEPLOTNÍ ŠOKY VBD	34
5.6	OBRÁBECÍ STROJE UMOŽŇUJÍCÍ VNITŘNÍ CHLAZENÍ	36
6	NÁVRH KONSTRUKCE VČETNĚ ZPRACOVÁNÍ VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	37
6.1	KONSTRUKCE UTĚSNĚNÍ POMOCÍ KRUHOVÉHO VÍKA A ŠROUBŮ S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘNÍM ŠESTIHRANEM	38
6.2	KONSTRUKCE UTĚSNĚNÍ POMOCÍ KRUHOVÉHO VÍKA SE ZÁVITEM PO OBVODĚ VÍKA	40
6.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ POMOCÍ VÍKA OPATŘENÉHO 4 ZKOSENÝMI SEGMENTY	41
6.4	KONSTRUKCE TĚSNĚNÍ MEZI VÍKEM A FRÉZOU	42
7	PEVNOSTNÍ KONTROLA NAVRŽENÉ KONSTRUKCE	43
7.1	KONTROLA 1. VARIANTY	44
7.1.1	Výpočet počtu šroubů, síly působící na víko	44
7.1.2	Stanovení minimální výpočtové tloušťky víka t_{\min}	47
7.2	KONTROLA 2. VARIANTY	48
7.3	KONTROLA 3. VARIANTY	50
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ	52
9	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
	SEZNAM PŘÍLOH	57
	PODĚKOVÁNÍ	58

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

DIVIŠ, L. *Návrh konstrukce vnitřního chlazení u čelních fréz: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 58 s. Vedoucí práce: Mrkvica, I.

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce vnitřního chlazení u čelních fréz. V úvodu práce je seznámení s daným problémem. Dále práce popisuje stručně metody frézování a princip chlazení. V práci jsou uvedeny varianty konstrukce vnitřního chlazení od konkurenceschopných společností. V hlavní části práce jsou navrženy tři varianty konstrukce řešení vnitřního chlazení u čelních fréz. Ke každé navržené variantě je zpracována podrobná výkresová dokumentace. Jednotlivé navržené varianty jsou kontrolovány pevnostními výpočty. Závěr práce patří technicko-ekonomickému zhodnocení, kde jsou shrnuty všechny výhody a nevýhody, které jsou spojené s konstrukcí vnitřního chlazení u čelních fréz.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DIVIŠ, L. *Design of Milling Cutter Internal Cooling: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 58 p. Thesis head: Mrkvica, I.

This thesis describes the design of internal cooling design for the frontal milling cutters. In the introduction provides an familiarization of to the problem. The thesis also briefly describes the methods of milling and cooling principle. In the thesis are stated options of design of internal cooling from competitive companies. In the main part of this thesis are projected three variants of internal cooling design for frontal milling cutters. For each variant is designed detailed drawings. Individual variations are checked by the strength calculations. In the conclusions is described technical-economic evaluation, which summarizes all the advantages and disadvantages that are associated with the design of internal cooling of the frontal milling cutters.



Seznam použitého značení

Značení	Význam	Jednotka
CBN	kubický nitrid boru	[-]
CNC	Počítačem řízené obráběcí centrum	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DIN	Německá státní norma	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
PCD	Polykrystalický diamant	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
a_p	Axiální hloubka odebírané vrstvy	[mm]
B	Tloušťka materiálu	[mm]
c_{II}	Součinitel snížení napětí	[-]
D	Průměr frézy	[mm]
d_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Malý průměr závitu	[mm]
D_v	Průměr víka	[mm]
F	Síla působící na jeden šroub	[N]
F	Řezná síla	[N]
f	Šířka fazetky	[mm]
F_p	Celková síla působící na šrouby	[N]
f_z	Posuv na zub	[mm]
h	Hloubka řezu	[mm]
i	Počet šroubů	[-]
k	Koeficient bezpečnosti	[-]
l	Délka klínového segmentu	[mm]
n	Otáčky vřetene stroje za minutu	[min ⁻¹]
p	Přetlak působící na víko	[MPa]
p_D	Dovolený tlak v místě stříhu na segment	[MPa]
R_a	Střední aritmetická odchylka profilu drsnosti	[μm]



R_e	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
$R_{p\ 0,2}$	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
S	Průřez šroubu	[mm ²]
S_2	Výpočtový průřez upínacích segmentů	[mm ²]
s_z	Posuv na zub	[mm]
t	Tloušťka segmentu	[mm]
v_c	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
v_f	Posuvová rychlost	[m·mm ⁻¹]
z	Přídavný součinitel na opotřebení	[mm]
α_f	Úhel hřbetu na fazetce	[°]
α_o	Úhel hřbetu	[°]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_{Rp\ 0,2}$	Mez kluzu jmenovitá	[MPa]



1 Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce vnitřního chlazení čelní frézy pro těžké hrubování a dokončovací operace. Jedná se o frézovací hlavu s vyměnitelnými břitovými destičkami určené pro frézování rovinných ploch. Přívod chladicí kapaliny do vnitřních prostorů je dutým upínacím trnem. Konstrukce frézy neumožňuje, díky upínání a velikosti frézy, být jako jeden celek a tím pádem by docházelo k úniku chladicí kapaliny přímo trnem do volných prostorů mimo frézovací hlavu, protože fréza je nasunuta na upínací trn typ – C a připevněna na tenhle typ upínacího trnu pomocí imbusových šroubů. Vznikl tedy požadavek od firmy Pramet Tools, s.r.o., aby došlo k uzavření frézy zespodu vhodným řešením. Navrhnuté řešení musí správně fungovat, vydržet odpovídající tlak chladicí kapaliny vyvinutý obráběcím centrem, které umožňuje přívod chladicí kapaliny větrem přímo do frézovací hlavy. U některých obráběcích center dosahuje přívodní tlak chladicí kapaliny až 3 MPa, proto musí být provedena pevnostní kontrola navrhnuté metody uzavření frézovací hlavy.

Frézování patří do oblasti třískového úběru materiálu rovinných nebo tvarových ploch pomocí vícebřitého nástroje. Hlavní pohyb, rotaci, koná nástroj a vedlejší pohyb koná obrobek. Frézování se provádí na strojích zvaných frézky. Nástroje potřebné pro frézování se nazývají frézy. Frézování po soustružení patří k druhému nejrozšířenějšímu způsobu obrábění v průmyslu. Frézují se převážně rovinné, tvarové, přímkové nebo zborcené plochy. V dnešní době frézování nahrazuje broušení u dokončovacích operací a to díky tomu, že je neustále vyvíjeno směrem dopředu a jsou zdokonalovány stále nové technologie frézování.

Hlavní požadavky a kritéria pro výrobu součástí v současnosti je velká produktivita práce, nízké náklady spojené s výrobou a vhodný technologický postup. Nezbytně nutné je rozhodnout se o správných parametrech a postupech hospodárnosti a efektivnosti výroby. Efektivnost a hospodárnost nám především ovlivňují vlastnosti obráběcího stroje, výborný technický stav produktivního zázemí, dodržení přesností, vhodnost zvoleného materiálu, atd. Nejdůležitějšími podmínkami produktivní výroby a dobrého jména na trhu jsou minimální celkové náklady spojené s výrobou v co nejmenším možném čase a pokud možno v co nejvyšší kvalitě.

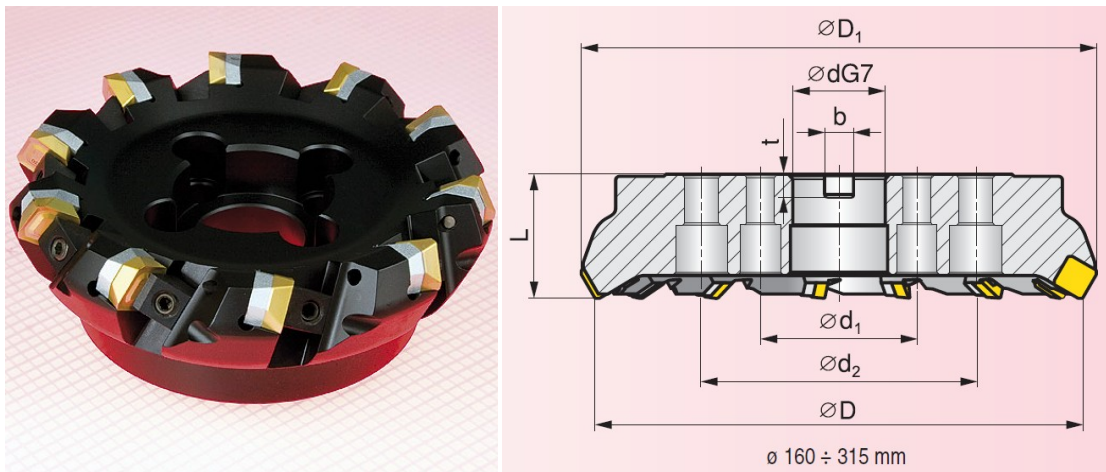


2 Cíle diplomové práce

- **Úvod do dané problematiky** – představení firmy Pramet Tools, s. r. o. Výrobní program společnosti, logistika, historie. Přehled o frézování, frézovacích nástrojích.
- **Seznámení se zadaným problémem** – představení produktu, který má být vylepšen o konstrukci vnitřního chlazení.
- **Procesní kapaliny** – typy procesních kapalin, jejich typy, využití, schopnosti. Chlazení nástrojů výhody, nevýhody, použití.
- **Porovnání fréz navržených konkurencí** – konkurenční řešení konstrukce vnitřního chlazení čelních frézovacích hlav, které se upínají na upínač typ „C“
- **Návrh konstrukčního řešení vnitřního chlazení** – návržení několik variant konstrukce chlazení na čelní frézovací hlavě s vyměnitelnými břitovými destičkami. Popis variant, jak fungují jednotlivá navržená řešení.
- **Rozkreslení jednotlivých variant konstrukce chlazení** – zpracování ve výkresové dokumentaci veškerých navržených variant řešení.
- **Pevnostní kontrola navržených variant** – výpočtové metody konstrukčních řešení, kontrola šroubů na tah, kontrola závitů víka. Na víka působí tlaková síla, která je vyvolána přívodem chladicí kapaliny dovnitř nástroje pod vysokým tlakem.
- **Ekonomické a technické zhodnocení** – zhodnocení nástroje při obrábění na sucho a obrábění s přívodem chladicí kapaliny.
- **Závěr** – závěrečné shrnutí diplomové práce, navržených variant chlazení čelních frézovacích hlavic.

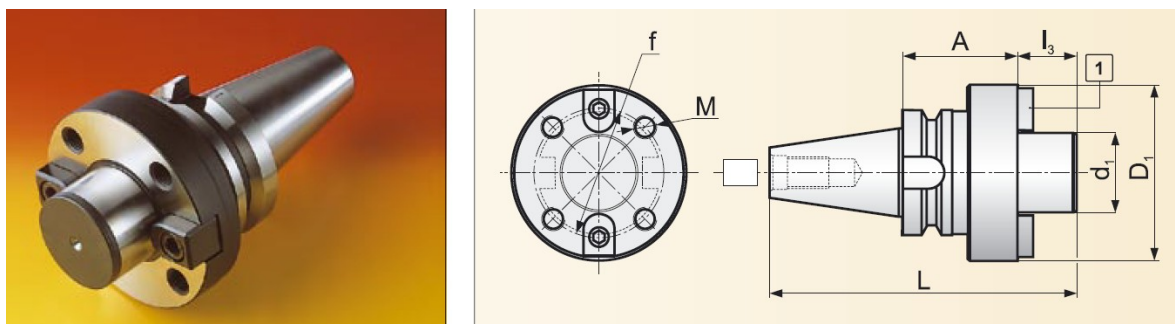
3 Obecná charakteristika problému

Tato diplomová práce byla vyhotovena na základě požadavku pro firmu Pramet Tools, s.r.o. Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout několik možností variant provedení vnitřního chlazení a přívodu chladicí kapaliny přímo na hrot vyměnitelné břitové destičky. Požadavek firmy je navrhnout vnitřní chlazení na čelní fréze, která se používá pro obrábění rovinných ploch, při těžkém hrubování a dokončovacích operacích. Firma Pramet Tools, s.r.o., zatím vyráběla tyto frézy pouze bez vnitřního chlazení. Tyto frézy jsou vyráběny standardně v průměru od 160 do 315 mm, ale na požadavky zákazníka katalogizovány až do průměru 500 mm. Dalším požadavkem je zkontrolovat výsledné řešení na pevnost, aby nedocházelo k deformacím způsobené tlakem chladicí kapaliny.



Obrázek 1: Čelní fréza pro těžké hrubování (bez vnitřního chlazení) [13]

Tyto frézy jsou upínány pomocí upínacího trnu pro nástrčné frézy – TYP C. Přívod chladicí kapaliny do vnitřních prostorů frézy by měl být dutým upínacím trnem. Provedení vnitřního chlazení musí nabízet obráběcí centrum, pro které jsou tyhle typy fréz konstruované.



Obrázek 2: Upínací trn pro nástrčné frézy - TYP C [13]

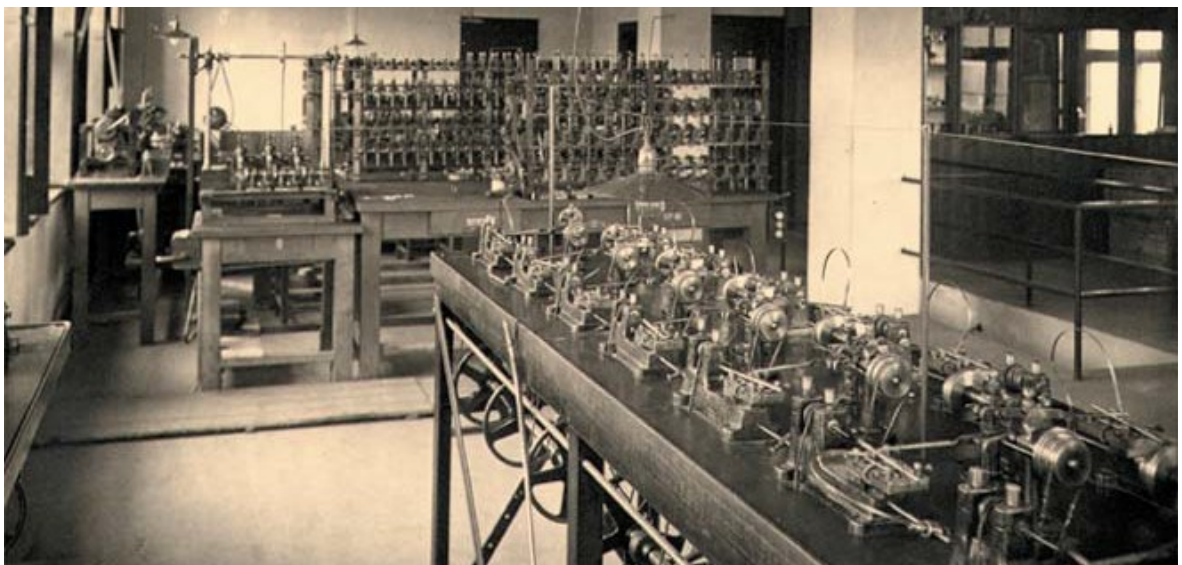
3.1 O společnosti Pramet Tools, s.r.o., Šumperk

Firma Pramet Tools, s.r.o., je dynamickou firmou se 100% majetkovou zahraniční spoluprací. Firma má dlouholetou strojní tradici v oblasti vývoje, výroby a prodeje obráběcích nástrojů a náradí vyráběných ze slinutého karbidu. Nástroje jsou určeny pro třískové obrábění a tváření kovů. Firma Pramet Tools se nachází v městě Šumperk ležící na Severní Moravě.

3.1.1 Historie firmy

Ve firmě Pramet Tools vychází výroba slinutého karbidu z dlouholeté výrobní tradice SK v Československu od 30. let. V roce 1951 byla započata výroba slinutého karbidu v Šumperku. Začaly se vyrábět součásti ze slinutého karbidu a také zde byla započata výroba rezných nástrojů osazených břitovou destičkou ze slinutého karbidu. [14]

Pramet má více jak 60 let zkušeností ve výrobě slinutého karbidu, stejně jako plynulý vývoj i výzkum a reprodukovatelná jakost materiálů dali možnost firmě zachovat si vedoucí postavení v daném sortimentu na domácím území a rovněž dosahovat stále vyšší prosazení na obtížných zahraničních trzích. [14]



Obrázek 3: Strojové vybavení v počátcích firmy [14]

3.1.2 Působení firmy dnes

V roce 1999 začalo nové stadium společnosti Pramet Tools. Došlo ke spolupráci s peněžně silným společníkem, který na trhu obráběcích nástrojů s destičkami ze slinutého karbidu zaujímá přední mezinárodní postavení mezi konkurenčními výrobci. Firma zvýšila svůj základní majetek, který byl použit na nákup aktiv. V následujícím období probíhaly investice již z vlastních zásob financí. Uskutečnil se nákup nových technologií výroby vyměnitelných břitových destiček. Obchodní oddělení a část výroby bylo přestěhováno do zrekonstruovaných prostorů, dále došlo na rozšíření výzkumných a vývojových aktivit. Byl optimalizován informační systém, zrodily se nové sekce logistiky a rovněž došlo k zesílení technického servisu a informovanosti zákazníků o nabízených produktech. Byly vytvořeny nové pobočky v Polsku a Itálii. [14]



Obrázek 4: *Moderní vybavení současnosti* [14]

3.1.3 Výzkum a vývoj

Od roku 2000 firma Pramet Tools celkově aktualizovala výrobní soubor nástrojů pro třískový úběr materiálů díky vlastnímu výzkumu a vývoji. Inovace byla provedena jak po stránce materiálové, tak i po změně tvarů destiček a řezné geometrii nástrojů, stejnou inovací prošlo i nářadí pro tváření a lisování vyráběné práškovou metalurgií. [14]

„Nový sortiment tak dnes plně odpovídá požadavkům moderních technologických postupů obrábění a ve srovnání s původním sortimentem je zde nárůst výkonnosti o mnoho desítek procent.“ [14]



3.1.4 Logistika a obchod

Zavedení systému logistiky, souhrnná přeorganizace dopravy a správa skladů umožnila uskutečňovat nároky odběratelů na dodávky zboží v co možném nejkratším období. Skladový sortiment je firma schopna doručit do 24 hodin po ČR, resp. do dvou dnů do ciziny. Pomocí vlastních lokálních distributorů firma Pramet Tools prodává v celé České republice své produkty. Prodejci poskytují zároveň technický servis a administrativní sekci prodeje. V ČR své produkty dále prodává pomocí smluvních prodejců. [14]

3.1.5 Výrobní sortiment

Firma Pramet Tools nabízí rozsáhlou škálu nástrojů v oblasti soustružení, frézování, vrtání a tváření kovů.

3.1.5.1 Nástroje pro soustružení

Sortiment nástrojů pro soustružení zahrnuje vyměnitelné břitové destičky pro soustružení různých typorozměrů (hrubovací, dokončovací), soustružnické nože (ISO C, D, M, P, S) vnější a vnitřní, karuselové a stavitelné hlavice. Firma vyrábí nástroje pro soustružení závitů, upichovací a zapichovací nástroje. Přednosti soustružnických nástrojů firmy Pramet jsou: nízká řezná síla, vhodná pro vyšší řezné rychlosti a vysoká produktivita. [14]

3.1.5.2 Nástroje pro frézování

Sortiment zahrnuje VBD pro frézování (hrubovací, dokončovací). Nabízené nástroje pro frézování: rovinné frézy, stopkové frézy, kopírovací frézy, válcové frézy, kotoučové frézy a monolitní tvrdokovové frézy. Nástroje pro frézování jsou doplněny širokým portfoliem upínačů rotačních nástrojů. Nástroje pro frézování jsou vyráběny s vnitřním přívodem řezné kapaliny pro optimální chlazení a odvod třísky z místa řezu. [14]

3.1.5.3 Nástroje pro vrtání

Sortiment zahrnuje destičkové i monolitní (tvrdokovové) vrtáky. Destičkové vrtáky jsou k dispozici v pracovní délce 2D - 5D a monolitní vrtáky v délkách 1D - 8D. Vrtáky jsou k dispozici s různými průměry. Sortiment vrtáků je doplněn širokým portfoliem upínačů rotačních nástrojů. Nástroje pro vrtání s destičkami obsahují i délky 4D a 5D. Vrtáky jsou nabízeny až do D58 mm. Nástroje pro vrtání mají následující benefity: stabilita, nízké vibrace, snadný odvod třísek. [14]

3.1.5.4 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu pro soustružení, frézování a vrtání. Široká nabídka typorozměrů, utvařečů, materiálů a provedení (hrubovací, dokončovací). Vyměnitelné břitové destičky mají vysokou výkonnost a dlouhou životnost. 98 % sortimentu je dostupný ve skladových zásobách. [13]

3.1.5.5 Nástroje pro tváření kovů

- Těsnící kroužky a pouzdra,
- tažirenské a tvářecí nářadí,
- nářadí pro obalovou techniku,
- nářadí pro válcování za studena i tepla,
- ostatní nářadí a konstrukční díly s vysokou otěruvzdorností,
- polotovary ze SK pro tvářecí nářadí a konstrukční díly strojů a zařízení. [14]



Obrázek 5: Frézovací hlava s VBD [13]



4 Rešerše stávajících řešení chlazení u čelních fréz typu „C“

Firma Pramet Tools doposud nenabízela vnitřní chlazení u čelní frézy s upínáním typu „C“ o průměru nad 160 mm ve svém katalogu výrobků. Proto v kapitole budou uvedeny konkurenční řešení chlazení u právě zmíněných fréz, aby mohlo dojít ke srovnání navržených variant pro firmu Pramet s variantami již navrženými v konkurenčních podnicích.

4.1 Frézování

Frézování je obrábění, u kterého dochází k úběru kovu, prováděno dvěma pohyby na sebe vázaných: rotačními pohyby nástroje a posuvnými pohyby obrobku. V minulosti byl realizován posuvný pohyb jen jako sled pohybů přímočarých. V dnešní době je na rozdíl tomu díky moderním strojům na obrábění možné pohyby posunu měnit plynule ve všech směrech. Obráběcí nástroj fréza má zpravidla větší počet zubů, kde každý zub v záběru odebrává konkrétní množství obrobeného materiálu. Současné frézování má mnoho výhod, které se projevují ve vysokém obráběcím výkonu, vynikající kvalitě obrobeného povrchu, dodržování velkých přesností požadovaných rozměrů a obrovská flexibilita u obrábění složitě tvarových obrobků. [6]

Frézování se stává stále univerzálnější metodou obrábění, díky důsledku rostoucí mnohostrannosti užití strojů na obrábění, systémů na řízení strojů a použití moderních řezných nástrojů. Převážná část všech frézovacích operací je prováděna v současnosti na obráběcích centrech. V podstatě se užívají takové stroje při obrábění frézováním, které mají tu nejvyšší rozmanitost: začínající klasickými jednoúčelovými staršími frézky, až po dnešní moderní, špičkově vyspělé víceosé CNC stroje. V dokončovacích metodách je stále více broušení nahrazováno frézováním, podobně je tomu i u elektroerozivního obrábění a frézují se i tvrzené obrobky. Metody frézování a zvolení vhodného frézovacího nástroje jsou určovány dle výkresové dokumentace a danými požadavky (přesnost rozměrů, kvalita obrobené plochy atd.). Obrábění by mělo být prováděno v co možno nejkratším čase se značně kvalitnějšími výsledky. Pokud vede technologický postup k volbě frézování, měl by být zvolen co nejvhodnější frézovací stroj. Volit můžeme mezi vodorovnou, svislou, nebo univerzální frézku, portálovou frézku, NC strojem, nebo CNC strojem. [6]

4.1.1 Nejběžnější frézovací operace z hlediska použití řezného nástroje:

- čelní frézování rovinných a přerušovaných ploch,
- frézování uvnitř obrobků, vyžadující delší dosah,
- frézování hlubokých drážek,
- frézování vícenásobných ploch,
- frézování úzkých osazení a koutů do různých hloubek,
- čelní frézování nestabilních a poddajných obrobků,
- frézování širokých osazení a drážek.

[5]

4.1.2 Rozeznáváme dva základní způsoby frézování:

- frézování obvodem válcové frézy (obr. 6),
- frézování čelem čelní frézy (obr. 7).

[9]

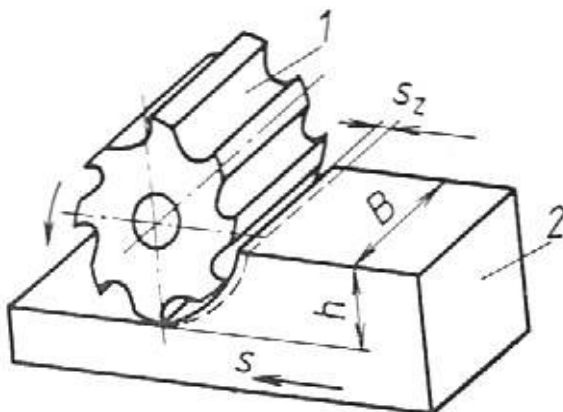
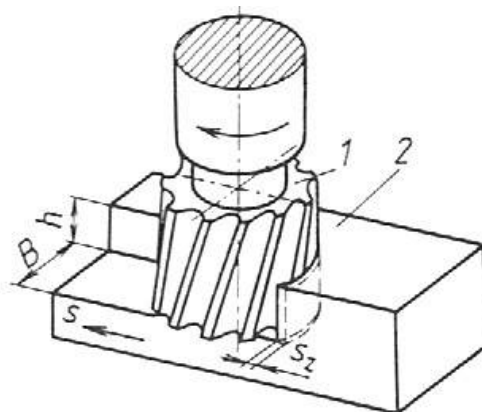
1 – fréza,

2 – obrobek,

B – šířka obrobku,

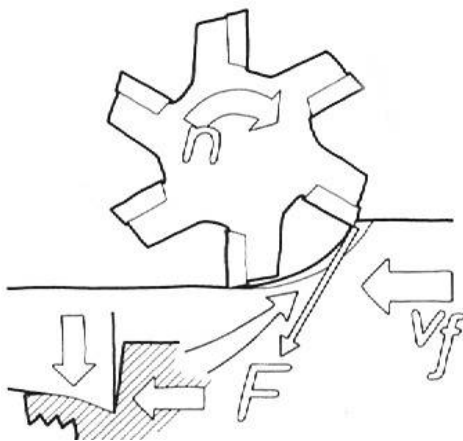
h – hloubka řezu,

s – posuv,

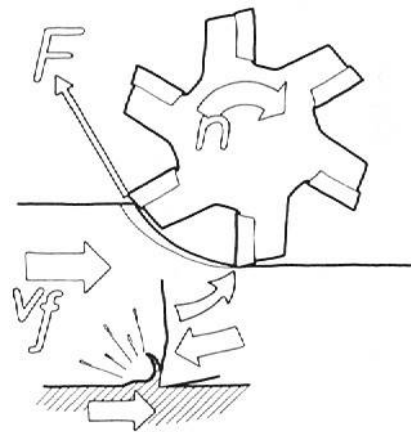
 s_z – posuv na zub.**Obrázek 6:** Frézování obvodem [9]**Obrázek 7:** Frézování čelem [9]

4.1.3 Směr frézování:

Existují dva různé směry otáčení frézy vzhledem k obrobku. Důležitá je vždy tloušťka třísky na začátku a na konci řezu. První způsob je sousledné frézování, při kterém je směr posuvu do řezu stejný, jako smysl otáčení nástroje. U tohoto způsobu frézování je na začátku řezu nejsilnější tříska. Druhý způsob je nesousledné frézování, které má smysl otáčení nástroje opačný než směr posuvu do řezu. Fréza na začátku úběru začíná s nulovou tloušťkou třísky a končí s maximální tloušťkou. [5]



Obrázek 8: *Sousledné frézování* [5]



Obrázek 9: *Nesousledné frézování* [5]

Při čelním a obvodovém frézování a při čelním frézování s osou frézy mimo osu obrobku vznikají řezné síly s různými směry. Proto je nutné směřům řezných sil věnovat pozornost. U sousledného frézování je zatlačován obrobek směrem do stolu stroje. Naopak u nesousledného frézování je obrobek vytrháván směrem nahoru od stolu. Platí všeobecné pravidlo o preferování sousledného frézování, neboť poskytuje výhodnější řeznou akci. Nesousledné frézování se používá jen okrajově tam, kde není možné splnit nároky na použití sousledného frézování např. vůle na stroji. [5]

4.1.4 Řezná rychlost v_c :

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad [6]$$

Řezná rychlost v_c označuje obvodovou rychlost, kterou obrábí břit nástroje obrobek. Jedná se o důležitou veličinu, která se vztahuje k obráběcímu nástroji a je součástí řezných podmínek zajišťující, že obrábění bude probíhat s co nejvyšší účinností. [6]

4.2 Frézovací nástroje

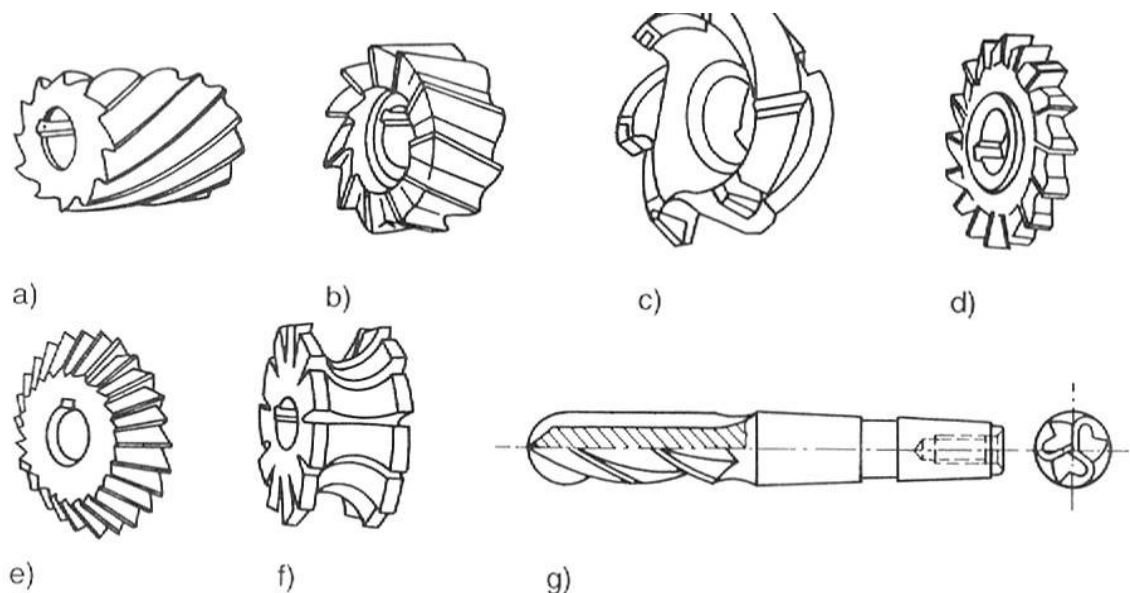
Frézovací nástroj se nazývá fréza, jedná se o několikabřítý nástroj. Břity frézy jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše tělesa frézy, u čelních fréz též na čelní ploše. Přiměřeně hojnému rozsahu frézování ve strojírenské výrobě a relativně značné univerzálnosti frézovací technologie se v dnešní době užívá velmi mnoho typů fréz. Převládající část sortimentu fréz je normalizovaného provedení, pouze malá část je vyráběna dle podnikových norem. Frézy je možno dělit z různých hledisek – zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce. [9]

4.2.1 Rozdělení dle umístění břitu

Podle toho, jestli jsou břity na fréze umístěny na rovinné, válcové, kulové, kuželové nebo tvarové ploše (obr. 10), se dělí na:

- **válcové** – s břity na válcové ploše (obr. 10a),
- **čelní** – s břity na válcové a čelní ploše (obr. 10b),
- **frézovací hlava** – s pájenými destičkami ze SK (obr. 10c),
- **kotoučové** – s břity na obou čelních plochách a válcové ploše (obr. 10d),
- **kuželové** – s břity na jedné nebo na dvou kuželových plochách (obr. 10e),
- **tvarové** – břity na tvarových plochách, např. zaoblovací frézy, frézy na závit, frézy na ozubená kola (obr. 10f, 10g).

[9]

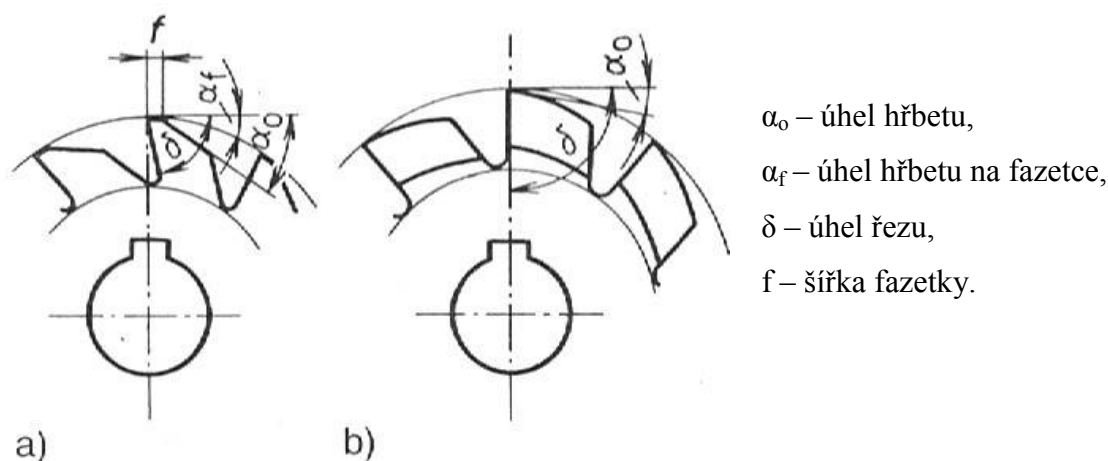


Obrázek 10: Základní typy fréz [9]

4.2.2 Rozdělení podle tvaru zubů

- **se zuby frézovanými** – zubové mezery frézovány kuželovými frézami (obr. 11a),
- **s podsoustruženými zuby** – tyto frézy mají hřbety zubů obráběné na tzv. podtáčecích soustruzích a mají tvar Archimédovy spirály, použití zejména u tvarových fréz (obr. 11b).

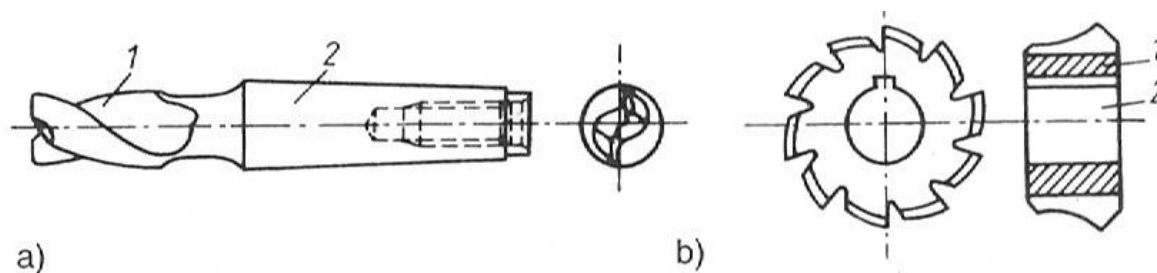
[9]



Obrázek 11: Tvary zubů fréz [9]

4.2.3 Dělení dle upínání fréz

- **stopkové** – s kuželovou (Morse nebo ISO) nebo s válcovou stopkou (obr. 12a),
- **nástrčné** – upínání pomocí upínacích trnů (obr. 12b).



Obrázek 12: Upínání fréz: a) stopkové: 1 – řezná část, 2 – stopka,
 b) nástrčné: 1 – těleso, 2 – upínací otvor [9]

4.2.4 Dělení podle průběhu ostří zubů frézy

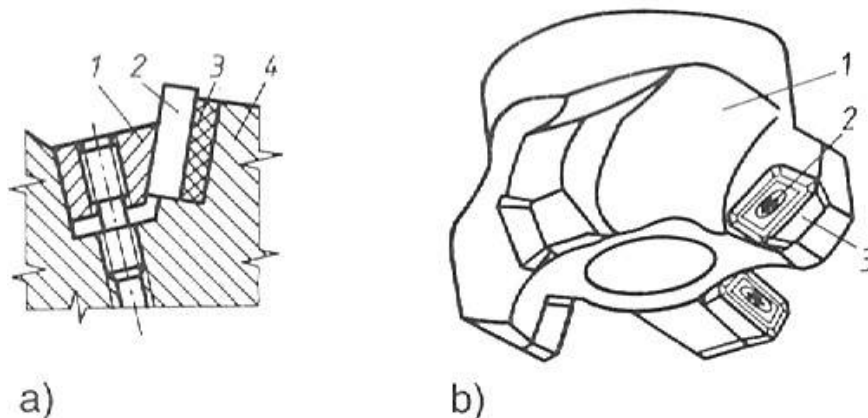
- **se zuby přímými** – mají zuby rovnoběžné s osou
- **se zuby ve šroubovici** – mohou mít sklon pravý nebo levý, snižují rázy a zabezpečují plynulý chod stroje. [9]

4.2.5 Rozdělení dle smyslu otáčení frézy

- pravořezné,
- levořezné. [9]

4.2.6 Dělení dle konstrukce

- **celistvé** – monolitní, vyrobené celé z řezného materiálu,
- **s vyměnitelnými břitovými destičkami** – se zuby z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, příp. i z řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru (obr. 13),
- **skládané** – z více samostatných fréz, slouží pro výrobu složitých tvarů. [9]



Obrázek 13: Příklady mechanického upnutí břitových destiček na fréze:

- a) **klínem:** 1 – upínací klín se šroubem, 2 – VBD, 3 – podložka, 4 – těleso frézy;
 b) **pomocí šroubu:** 1 – těleso frézy, 2 – upínací šroub, 3 – VBD [9]



4.3 Nástrojové materiály

Monolitní frézy jsou vyráběny z rychlořezných ocelí a to buď obráběním, nebo přesným litím, u monolitních fréz menších rozměrů je možnost vyrábět celé frézy ze slinutého karbidu. Frézy, které mají vyměnitelné břitové destičky, také jejich zuby jsou tvořeny vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Tělo frézy je tvořeno z konstrukční oceli o vyšší pevnosti. Břitové destičky jsou k tělu frézy připájeny nebo různými mechanickými způsoby upnuty (pomocí klínu, šroubů, pákových mechanismů, atd.). [9]

Při obrábění litiny se používají frézy s mechanickým upínáním keramických břitových destiček. Pro obrábění kalených ocelí lze použít frézy s destičkami z polykrystalického kubického nitridu boru. Některé typy válcových a čelních fréz o větších průměrech vyrobené z rychlořezné oceli se většinou již dnes nepoužívají. Jsou většinou nahrazeny frézovacími hlavami osazenými vyměnitelnými břitovými destičkami. Vysoko výkonnostní čelní frézy až do průměru 25 mm se vyrábí jako celistvé, ze slinutých karbidů nebo stelitů, metodami práškové metalurgie. [9]

4.4 Nástrčné čelní frézy s upínáním typu „C“ pro těžké hrubování

Frézovací hlavy a velké čelní válcové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami požadují značně tuhé obráběcí stroje o vysokých výkonech. Do frézovací hlavy lze upnout jednu tzv. hladicí destičku (má nastaven velmi malý úhel vedlejšího ostří), díky tomu je dosahováno velmi kvalitního povrchu i při hrubování.

Hrubovací frézování zahrnují tyto aplikace hrubování těžkých výkovků, odlitků a svařovaných konstrukcí, za tepla válcovaných hutních polotovarů a to na frézkách velkých portálových, vysoce výkonných strojích na frézování nebo na obráběcích centrech. Potřeba je odebrat velké množství materiálu, při úběru vzniká vysoké teplo a velké řezné síly, proto jsou kladeny specificky velké požadavky na břitové destičky určené pro frézování:

- obrovské zatížení hlavního břitu při záběru odpovídající hloubce řezu po celé délce,
- v okamžiku když je hloubka řezu rovna nule, hrozí opotřebení břitu destičky v rohu abrazivní kůrou.

[15]

Pro frézy těžkého hrubování jsou optimální hodnoty úhlu nastavení 60° . Tohle nastavení a konstrukce nástroje umožňuje dobré předpoklady pro dobrý průnik do materiálu a díky tomu umožňuje úběr větší hloubky řezu, dále umožňuje relativní rovnoměrné řezné síly a efektivní zeslabení třísky, díky kterému je možno užít vyšších rychlostí posuvu. [15]

4.4.1 Obecná charakteristika čelní frézy pro těžké hrubování

Společnost Pramet Tools, s. r. o., nabízí ve svém katalogu frézovacích nástrojů rozsáhlou škálu čelních fréz určených k oblasti těžkého hrubování. Jedná se o frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami.



Obrázek 14: Fréza s destičkami SNMR 17 (fréza $D = 200\text{ mm}$) [12]



Obrázek 15: Frézovací nástroj pro oblast těžkého hrubování s destičkami TBMR 27 [12]



Společným a základním znakem těchto fréz je jejich použití pro oblast těžkého hrubování. Charakteristika pro operaci těžkého hrubování je proměnlivá tloušťka odebírané vrstvy materiálu z obrobku. Nejobvyklejšími typy obrobků tvoří vývalky, odlitky a výkovky, u kterých se nachází značné množství nečistot v povrchové vrstvě materiálu. V podobě povrchové kůry a zakalených struktur se projevují tyto nečistoty, při odstraňování nálitků vtokových soustav. V hojné míře se nacházejí v povrchové kůře písková ložiska, nečistoty a materiálové vměstky. [12]

Konstrukce fréz:

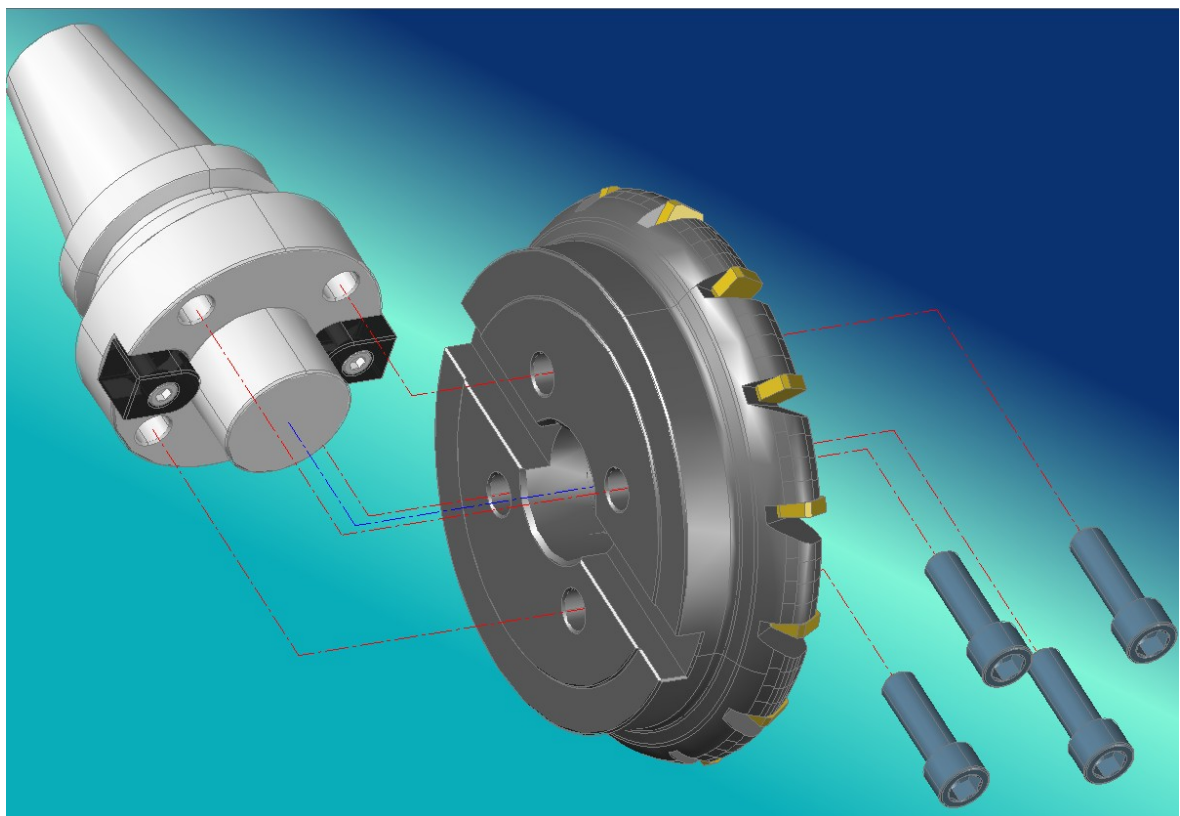
Sortiment čelních frézovacích nástrojů s VBD se vyznačuje větším počtem zubů. Doporučené rozmezí posuvů na zub f_z od 0,30 mm až do 0,55 mm, zajišťuje geometrie „R“, která je ještě doplněna o geometrii destičky hladicí. Hladicí destička slouží k dosahování požadované jakosti povrchu do hodnoty $R_a < 0,8 \mu\text{m}$. Doporučená maximální axiální hloubka odebírané vrstvy pro obě geometrie destiček může být $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$. Frézy se vyznačují vyšším počtem zubů s nerovnoměrnou zubovou roztečí, díky tomu mají frézy klidnější chod nástroje v řezu. Výsledná geometrie nástroje umožňuje použít vyšší posuv na zub díky menšímu řeznému odporu. Když se zanechají předepsané řezné podmínky, umožní nástroj uspořit nemalé procento spojené s náklady na elektrickou energii. Dalšími vedlejšími efekty je i snížení obrovského namáhání strojního zařízení frézky, především převodové ústrojí a ložisek. [12]

Destička je na tělo upnuta převážně mechanickým způsobem a to pomocí upínacího klínu z hlediska bezpečnosti. Destička jde snadno vyměnit nebo pootočit. Jednoduchou výměnu nebo pootočení destičky provedeme povolením diferenciálního šroubu klínu, tím pádem dojde k oddálení klínu od destičky a nyní můžeme s destičkou snadno manipulovat. Výměna destičky nebo její pootočení je prováděno za vysokých teplot celého nástroje. Pod VBD se nachází ochranná podložka ze SK, která je k tělesu frézy upnutá pomocí šroubu. Slouží jako ochrana tělesa frézy při destrukci destičky během frézování. [12]

Frézy jsou standardně povrchově černěny. Fréza je na čelní ploše opatřena laserovými popisy s označením typu a použité destičky. Společnost Pramet Tools nabízí ucelený sortiment čelních frézovacích nástrojů pro těžké hrubování s vysokým poměrem cena/výkon a umožňuje zákazníkovi zvýšit vysokou měrou produktivitu práce. [12]

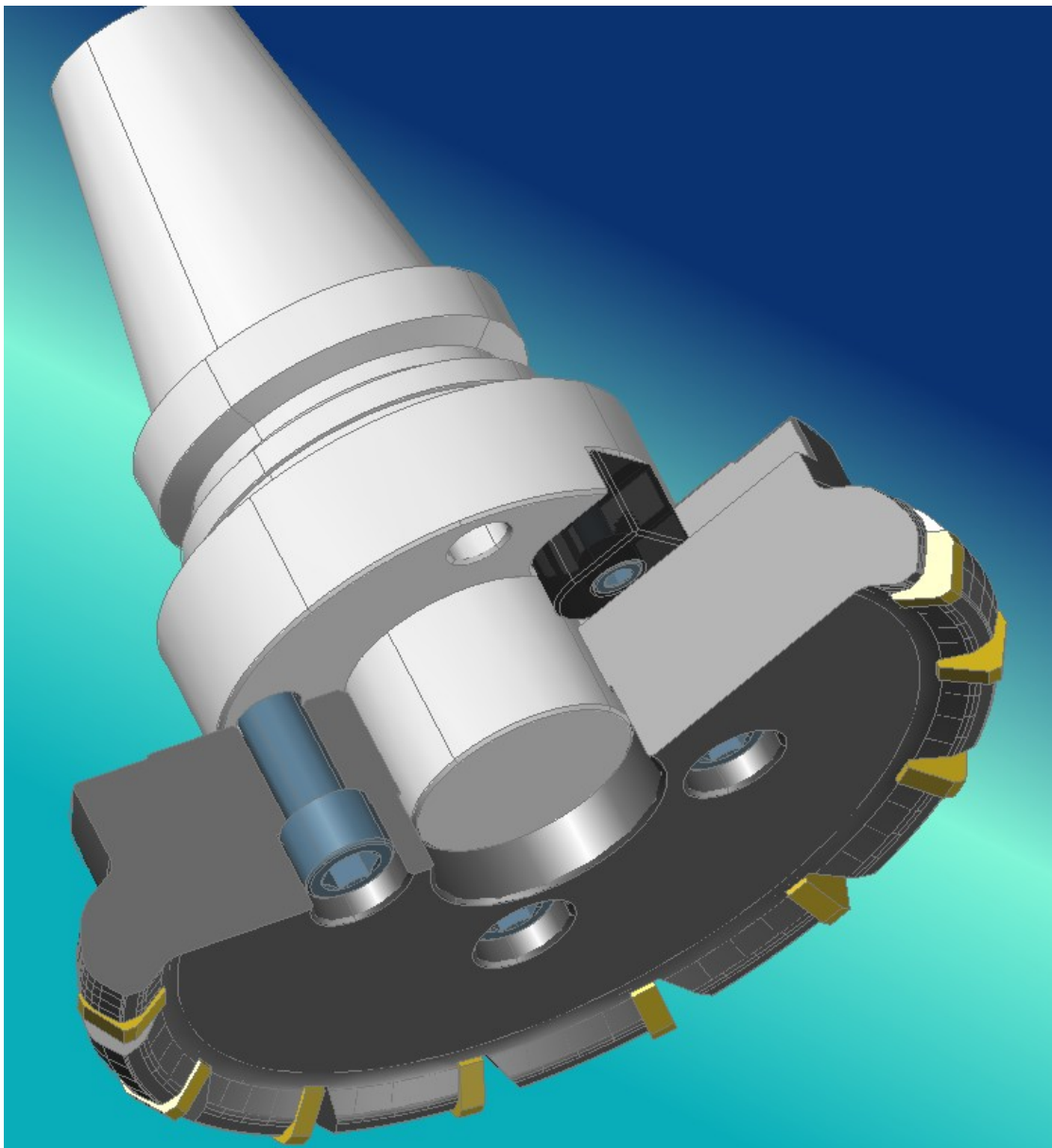
4.4.2 Konstrukce upínání typu „C“

Přesné a kvalitní upnutí je důležitou součástí obráběcího procesu. Upnutí nástroje musí vykazovat značnou pevnost a tuhost. Před samotným upínáním se musí zajistit dokonalá čistota upínacího trnu, aby se na trnu nevyskytovaly nežádoucí nečistoty na povrchu styčných ploch. Styčné plochy nesmí být porušené, proto se před upnutím musí zkontrolovat jejich celistvost. Mohlo by dojít k povolení upínacího trnu, nebo k nepřesné poloze nástroje na trnu. Zadaná čelní fréza pro těžké hrubování se upíná na upínač typu „C“. Jedná se o upínací trn se čtyřmi otvory pro upínací šrouby, které jsou vytvořeny na normalizované roztečné kružnici. Na straně upínání trn – fréza, je přesně broušený zásuvný čep, na který se fréza nasune a svou přesností vyosí nástroj na upínacím trnu. Házivost čepu vůči upínacímu kuželu je 0,005 mm. Trn je ještě opatřen dvěma segmenty, které slouží pro přenos točivého momentu na frézu a aby nedocházelo k protáčení frézy na trnu. Upnutí frézy na trn se provádí tak, že se fréza nasune na zmíněný čep trnu. Segmenty na trnu zapadnou do drážek na frézovacím nástroji (na obr. 16 zvýrazněny černou barvou), tím dojde k přesnému ustavení nástroje na trnu. Aby fréza na trnu držela a nedošlo k jejímu sesunutí, musí se pojistit čtyřmi šrouby se zápusťnou hlavou s vnitřním šestihranem a dotáhnout na předepsaný dotahovací moment.



Obrázek 16: Schéma upnutí frézovacího nástroje na upínací trn typ "C"

Na obrázku 17 vidíme kompletní sestavu usazení frézovacího nástroje na upínacím trnu typu „C“. Tato kompletní sestava je již připravena k použití do speciálního frézovacího stroje nebo obráběcího centra. Kompletní sestava je upnuta do obráběcího stroje pomocí normalizovaného kužele na konci trnu. Je možná ruční nebo automatická výměna celé sestavy z obráběcího stroje. Demontáž frézy z trnu se provádí povolením čtyř šroubů a sesunutím frézovacího nástroje z trnu. Výměna břitových vyměnitelných destiček lze provádět, jak v celé sestavě, tak i u samostatné frézovací hlavy zvlášť.



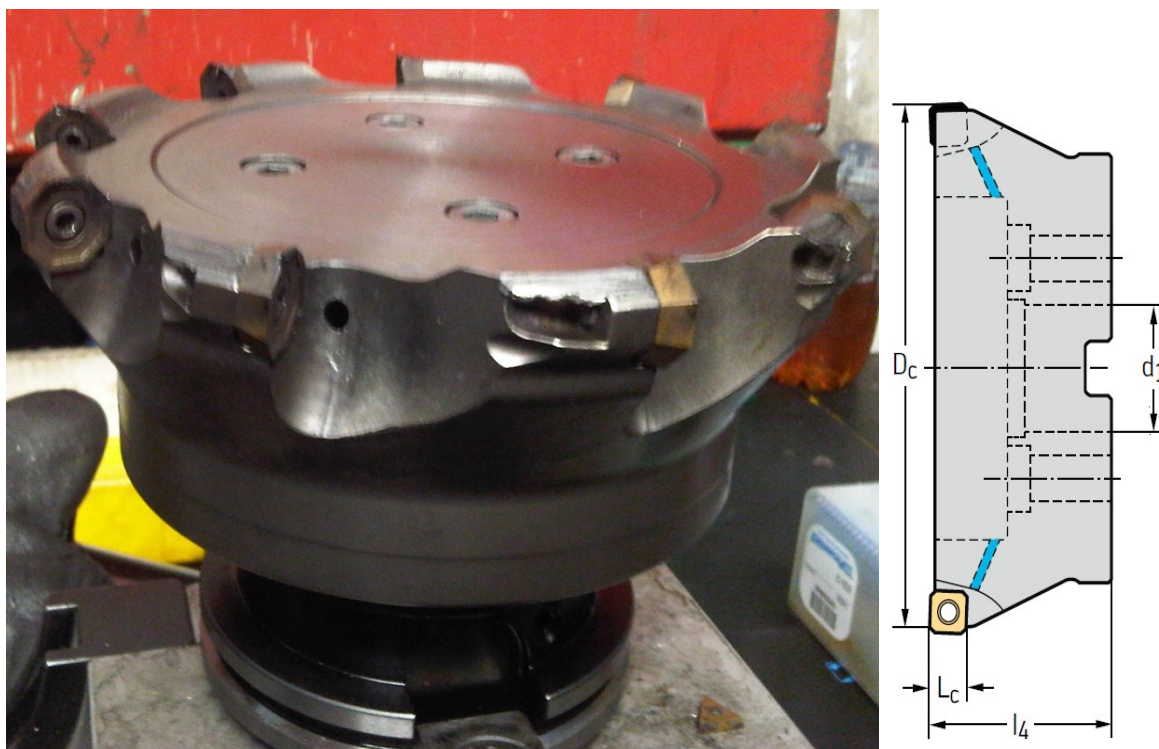
Obrázek 17: *Sestava ustavení nástroje na trnu v řezu*

4.5 Konkurenční řešení vnitřního chlazení čelních fréz s upínáním typu „C“

Ve firmě Pramet Tools se doposud nevyráběly čelní frézy s upínáním typu „C“ s vnitřním přívodem chladicí kapaliny. V následujících bodech bude uvedeno několik variant chlazení konkurenčních firem zabývajících se výrobou obráběcích nástrojů.

4.5.1 Konstrukce chlazení od firmy Walter AG

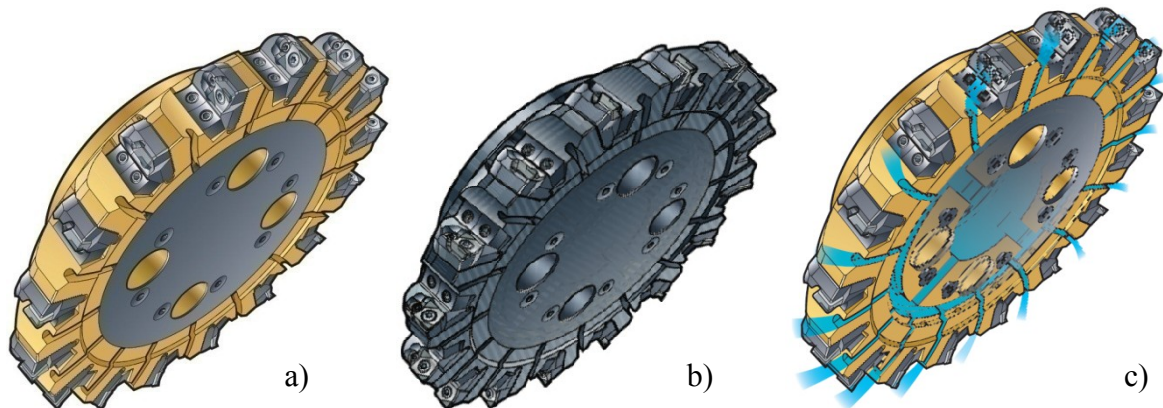
Firma Walter provádí utěsnění čelní frézové hlavy pomocí kotoučového poklopu připevněného k tělu frézy pomocí šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. V katalogu produktů 2012 má firma Walter schéma k tomuto typu chlazení k dispozici, ale bez sebemenších detailů konstrukčního řešení, nebo použitých prvků. Na obrázku jsou vidět otvory v zubových mezerách, kterými je přiváděno procesní médium přímo na hrot nástroje a do místa řezu.



Obrázek 18: Varianta řešení společnosti Walter AG [19]

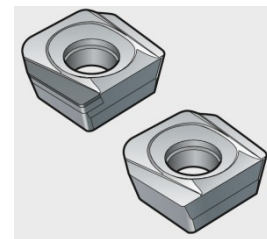
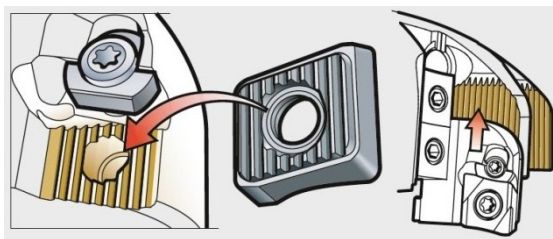
4.5.2 Konstrukce chlazení od firmy Sandvik Coromant

Čelní fréza s lehkým řezem pro vysokorychlostní obrábění. Tělo frézy je vyráběno buď hliníkové, nebo ocelové. Fréza umožňuje snadné seřízení na hrubo i na jemno a umožňuje dosáhnout vysoké jakosti obrobené plochy. Díky urychlenému proudění řezné kapaliny má fréza daleko intenzivnější odvádění třísek z místa řezu. Fréza je vyráběna v průměru od 160 do 500 mm.



Obrázek 19: a) hliníkové tělo, b) ocelové tělo, c) fréza se zapnutým chlazením [16]

Fréza je opatřena vyměnitelnými kazetami s vroubkovanými lůžky, stejné vroubky na lůžkách mají i VBD, aby mohlo dojít ke správnému ustavení VBD na nástroji. Jedná se o velmi spolehlivou funkci. Systém kazety umožňuje potlačení házení a vlivu tolerancí VBD. Na frézu je možno upnout hladicí břitové destičky jak pro čelní frézování, tak i pro rotační frézování.



Obrázek 20: Vroubkované styčné plochy VBD a kazety **Obrázek 21:** Hladicí destičky [16]

Maximální hloubka řezu a_p [mm] (hliníkové i ocelové tělo):

Karbid	2 – 10
PCD	2 – 5
CBN	1,2

Drsnost povrchu R_a : <1



5 Požadavky na systém chlazení

Řezné kapaliny ano nebo ne? To je v současné době otázka velmi aktuální pro každého technologa, který se snaží o efektivní přístup k obráběcímu procesu, vybaveného moderními stroji a nářadím.

5.1 Účinky řezného prostředí

Účinnost řezných kapalin při obrábění kovů značně závisí na jejich molekulární příbuznosti s kovem, která podmiňuje jejich smáčecí a mazací vlastnosti a schopnosti ulehčovat obrábění kovů. Řezné kapaliny musí zajišťovat trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při malé spotřebě energie. Vliv prostředí na proces řezání je určený jeho mazacími, chladícími, čistícími, ochrannými a řeznými účinky. Tyto účinky jsou základními vlastnostmi řezných kapalin. [1]

5.1.1 Mazací účinek

Pod mazacími účinky kapaliny se rozumí její schopnost snižovat řeznou sílu, tím se zmenšuje výkon potřebný k obrábění kovů, jako i schopnost zajistit rovnoměrný úběr a odstranění třísek a plynulou práci nástroje. Mazání má vliv i na drsnost obrobené plochy, zmenšení tření a odporu. Účinnost mazání je podmíněná vytvořením přilnavé, tlaku odolné olejové vrstvy, která brání přímému kontaktu mezi nástrojem a obrobkem s následkem snížení tření mezi třískou a nástrojem. Vznik této vrstvy se vysvětluje následovně: molekulární síly povrchových molekul jsou vázané směrem dovnitř tělesa. Povrch těles je proto pokrytý určitou přechodovou vrstvou vytvořenou z molekul prostředí. Tato povrchová vrstva je k povrchu pevně vázaná a bez mechanického poškození není možné ji odstranit. Aby došlo ke sníženímu tření, musí absorpční vrstva mít nižší pevnost ve stříhu jak obráběný materiál. Absorpční vrstva musí dobře odolávat vysokým teplotám. Mazací schopnost kapaliny je závislá i na její viskozitě a pevnosti vrstvy. S rostoucí viskozitou hůře kapalina proniká mezi třecí plochy, zhoršuje se proudění, které má za následek snížení odvodu tepla. U kapalin s vysokou viskozitou zůstává hodně kapaliny na třískách s následkem velké spotřeby kapaliny. Proti tomu se ale u vyšší viskozity zlepšuje únosnost přechodové vrstvy. [1]



5.1.2 Chladicí účinek

Schopnost chladicí kapaliny je odvádět teplo z místa řezu. Takovou vlastnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a existuje tepelný spád mezi povrchem kovu a kapalinou. S vyšší teplotou v řezu rostou požadavky na odvod tepla. Nahromaděné teplo se může nahromadit v obrobku a mohou vznikat nepřesnosti. Chladicí účinek je zvláště důležitý při obrábění nástroji z rychlořezné a nástrojové oceli, pokud teplota v místě řezu přesáhne popouštěcí teplotu nástroje, nástroj ztrácí řezivost a dochází k velkému opotřebení. Odvod vzniklého tepla při řezání se dosahuje tím, že proud kapaliny omývá nástroj, třísku a povrch obrobku v oblasti řezu, čímž pohlcuje vzniklé teplo. Jistá část kapaliny vlivem přehřátí v místě řezu se odpaří, zbylá část putuje zpět do nádrže. Když chladicí kapalina nepřichází přímo na špičku nástroje, zvětšuje se rozdíl teplot ve vnitru nože, což způsobuje intenzivnější odvod tepla ze špičky nástroje. [1]

Chladicí schopnost a její intenzita ochlazování závisí na tepelné vodivosti, kinematické viskozitě, měrném teple, schopnosti smáčet povrch, rychlost proudění, pěnivosti a přilnavosti kapaliny. Chladicí schopnost je výrazně závislá i od složení vody, proto systém míchání s vodou je upřednostňován při vysokých požadavcích na chladicí účinek. S vyšší pěnivostí se chladicí účinek snižuje. Přídavky povrchově aktivních látek zvyšují přilnavost, a tím je i lepší chladicí schopnost. Se zvýšením rychlosti proudění roste součinitel přestupu tepla, což zlepšuje chladicí schopnost. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek, ale odpařování kapaliny je nežádoucí z hlediska ne hospodárnosti využívání chladicích kapalin, aby byla dodržena čistota pracovního prostředí a požární bezpečnost. Proto chladicí účinek kapaliny neposuzujeme podle vypařeného množství. Teplotu řezání ovlivňuje nejen chladicí schopnost kapaliny, ale i mazací schopnosti chladicí kapaliny. Mazací schopnost zmenšuje tření a deformační práci, a proto vzniká menší množství tepla. [1]

5.1.3 Čistící účinek

Důležitým úkolem řezné kapaliny je dokonale odstraňovat třísky a piliny, které vznikly při obrábění. Kovové částice se slepují s prachem a s nečistotami z ovzduší a způsobují zhoršení řezné schopnosti nástroje a poškození funkčních ploch obráběcího stroje. Kapalina by měla zabránit shromažďování a slepování částic, které má odplavovat z místa řezu, aby se nelepily na nástroj. Pokud se částice dostanou zpět do nádrže, měly by se usadit na dno a dále by měla do místa řezu proudit opět čistá kapalina. [1]



Nejlepší čistící účinek mají kapaliny o nízké viskozitě a bez aktivních přísad, které obalí částice a zabrání jejímu slepení. Čistící účinek je důležitý téměř u všech operací, ale obzvlášť u broušení, kde je potřeba čistit brusný kotouč a při vrtání hlubokých děr a řezání závitů, kde je třeba rychle a dokonale odplavovat třísky z místa řezu, aby došlo k zabránění vzniku velkého tepla, nezhoršovala se kvalita obrobené plochy a nedocházelo k nežádoucímu opotřebení řezného nástroje. [1]

5.1.4 Ochranný účinek

Jedním z dalších požadavků na řezné kapaliny je, aby nezpůsobovaly korozi obráběcích strojů, obráběných součástek a nepůsobily agresivně na gumové těsnění. S podmínkou nekorozivzdornosti se obvykle spojuje požadavek ochranné vrstvy. Tento požadavek byl vyvolán tím, aby se součásti mezi operacemi nemusely konzervovat a aby byly obráběcí stroje při přerušení práce chráněny vůči okolnímu prostředí. Ochranný účinek řezné kapaliny je zabezpečený tím, že se na povrchu kovu vytvoří absorpční vrstva anebo povlak z oxidu, který chrání před působením korozivních činitelů (voda, kyslík, kyseliny, atd.), které pronikají z okolního prostředí a objevují se v kapalině před jejím stárnutím. Jak řezná kapalina sama nezabezpečuje ochranný účinek, který vytváří na povrchu vodotěsnou vrstvu, musí se do ní přidat potřebné přísady, které obalí povrch kovu a tím brání korozi. Antikorozní účinky mají elektrolyty, neutrální mýdla a některé sloučeniny, např. kyselý uhličitán vápenatý, síran zinečnatý apod., které změkčují vodu a vytváří ochranné povlaky. Řezné kapaliny časem zestárnou, mění se jejich chemické složení a ztrácejí svoje antikorozní vlastnosti. [1]

5.1.5 Řezný účinek

Řezný účinek kapaliny se vysvětluje vnikáním molekul povrchově aktivních látek, které obsahuje řezná kapalina, do mikrotrhlin deformovaného materiálu. Tyto látky působí vnitřní tlak na stěny mikrotrhlin, čímž snižuje soudržnost kovu a ulehčuje vznik plastické deformace, co má za následek zmenšení řezných sil, výkonu potřebného k obrábění a prodloužení trvanlivosti nástroje. Když se odsune nástroj od obrobku a přestane zatížení, tak se mikrotrhliny, vzniklé působením molekulárních sil, stáhnou a vytlačí povrchově aktivní látky, které do kovu pronikly. [1]



5.2 Rozdělení řezných kapalin

Potřebný počet druhů řezných kapalin je podmíněn účelem jejich použití a požadavkem, které jsou na ně kladené. Podle provozních podmínek je na jednotlivé základní účinky kladený větší nebo menší důraz, z čeho vyplývá základní druhové rozdělení řezných kapalin na kapaliny s převládajícím chladícím účinkem a na kapaliny s převládajícím mazacím účinkem.

Rozdělení řezných kapalin:

1. Vodní roztoky.
2. Ropné látky používané pro řezné kapaliny:
 - a) vodní emulze emulgačních olejů a maziv,
 - b) ropné oleje bez přísad,
 - c) řezné oleje s přísadou mastných látek,
 - d) řezné oleje s chemickými přísadami, případně mastnými látkami.
3. Koncentráty vysokotlakých přísad.
4. Mastné látky živočišného nebo přírodního původu.
5. Syntetické kapaliny

5.3 Chladicí kapalina

Chladicí kapalina má účinky jak chladicí, tak i mazací. Používá se při třískovém obrábění kovů. Chladicí kapalina se používá z důvodu odvodu tepla z místa řezu. Další důvod použití je snížení třecího odporu mezi nástrojem a třískou. Důležitou funkcí kapaliny je i dokonalé odplavování třísek z místa řezu. A však nejdůležitější funkcí chladicí kapaliny představuje prodloužení trvanlivosti nástroje, nebo zvýšení řezných parametrů se stejnou dobou trvanlivosti nástroje. Díky použití chladicí kapaliny dochází k lepší jakosti obrobené plochy. Musí být nekorozivní a zdravotně nezávadná. Základem chladicích kapalin je voda, do které se přidávají látky zvětšující smáčivost a zabraňují korozi. Většinou se používají emulzní kapaliny, to jsou emulzní oleje ve vodě, které umožňují mimo účinků chladicích i účinky mazací (u broušení 1 - 3% koncentrace, při frézování, soustružení, vrtání asi 5%), výjimečně může obsahovat i vodných roztoků (u broušení) alkalických elektrolytů (soda, borax, trietanolamin, atd.), nebo hydrofilní mýdla.



5.4 Přívod řezné kapaliny

Místo přívodu řezné kapaliny závisí podle toho, který její účinek má převládat. Když od řezné kapaliny požadujeme převážně chladicí účinek, proud kapaliny má směřovat přímo na kořen třísky, kde vzniká největší množství tepla. Pokud má ale převládat mazací účinek kapaliny, je potřeba řeznou kapalinu přivádět pod tlakem. Používá se přívod řezné kapaliny i vnitřkem tělesa nástroje.

5.4.1 Přívod samospádem z výtokové trubice

Kapalina je přiváděna do výtokové trubice a dále samospádem do řezné oblasti. Svým účinkem působí na odcházející třísku, obrobek a řezný nástroj. Tento způsob přívodu se používá pro soustružení, frézování a broušení.

5.4.2 Přívod pod tlakem z výtokové hadice

Kapalina je výkonným čerpadlem pod zvýšeným tlakem přiváděna do výtokové trubice a dále do řezné oblasti směrem na řeznou hranu anebo čelo řezného nástroje. Může být přiváděna i oběma směry, čím se docílí zvýšeného účinku kapaliny. Použití např. při vrtání hlubokých děr. Kapalina s účinkem chladicím udržuje nízkou teplotu a usnadňuje tím vytvářet krátké třísky. Tlaky při používání přívodu kapaliny jsou kolem 100 bar, ale pro náročné operace mohou dosahovat tlaku až 200 bar.

5.4.3 Přívod tryskou tvorba mlhy

Kapalina je přiváděna do místa řezu tryskou. Tryska je upravena na tvorbu aerosolu kapaliny se vzduchem. Mlhou jsou rozuměny malé částičky kapaliny jemně rozprášené ve vzduchu. Použití u chlazení nástrojů s keramickými destičkami. Rychlost rozptýlené kapaliny ve vzduchu je až $300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

5.4.4 Přívod vnitřkem tělesa nástroje

Procesní kapalina je přiváděna do místa řezu vnitřkem nástroje. Použití při vrtání hlubokých děr těžko obrobitelných materiálů a broušení. Kapalina je přiváděna přímo na břit nástroje v místě řezu. Využití v soustružení, vrtání, frézování a broušení. Největší výhodou při frézování je, že je kapalina přiváděna ke každému břitu samostatně a po celou dobu břitu v záběru i mimo záběr.



Obrázek 22: *Hlava s vnitřním chlazením* [17]



Obrázek 23: *Fréz. hlava – tryska* [13]

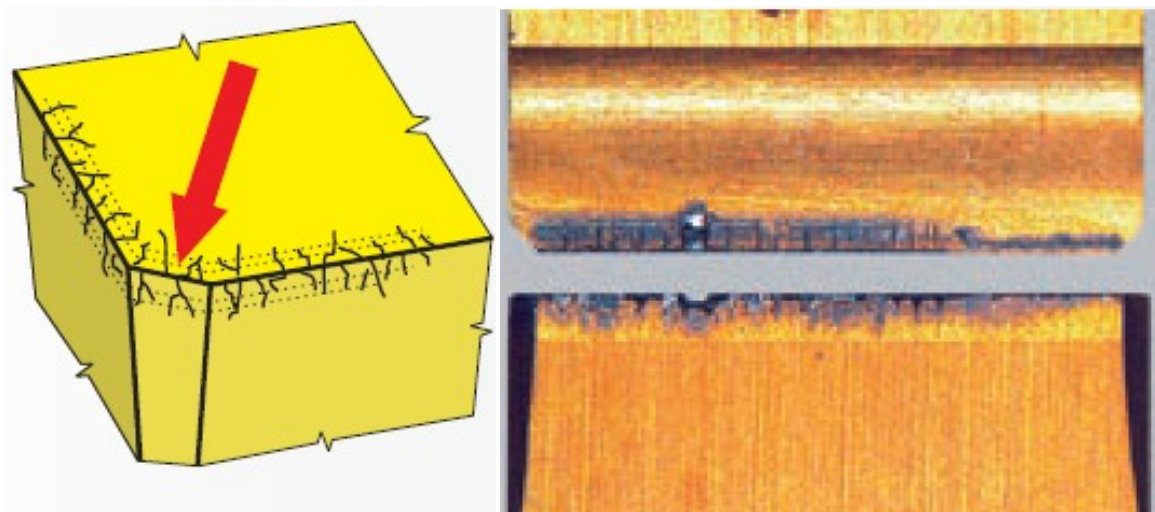
5.5 Teplotní šoky VBD

Každý břit obráběcího nástroje je vystaven při obrábění jistému opotřebení, tohle opotřebení trvá až do jeho ukončení doby trvanlivosti. Opotřebení břitu bývá mnoho typů např. opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu, plastická deformace břitu, hřebenovité trhliny na ostří, lom břitu nástroje, atd. Nás bude především zajímat deformace typu hřebenovité trhliny na ostří.

Hřebenovité trhliny na ostří vznikají formou únavového opotřebení, které vzniklo tepelným šokem. U frézování se jedná o velmi častý děj, protože dochází k velmi časté změně teploty během procesu frézování. Tvorba trhlin se děje kolmo na ostří, současně může dojít k vylamování částic nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlínami s následkem vyvolání náhlého lomu břitu. Vyvarovat se teplotnímu šoku lze změnou hloubky třísky, zmenšením hloubky třísky - dojde k menším tepelným ohřevům.

Nedoporučuje se používat procesní kapalinu, protože zvyšuje riziko vzniku trhlin prudkým ochlazením nástroje a náhlým oteplením v záběru při styku nástroje s obrobkem. [13]

U těžkého hrubování dochází k velkým tepelným skokům, jelikož je odebráno velké množství materiálu najednou. U čelního frézování dochází k přerušovanému řezu, což znamená, že je břit v záběru pouze určitou část kružnice a zbytek kružnice vykonává ochlazováním na vzduchu nebo procesní kapalinou. Velké teplotní rozdíly mají za následek vznik hřebenovitých trhlin na ostří. Výrobci doporučují obrábět na sucho, aby nedocházelo k těmto tepelným šokům, ale když podmínky obrábění nedovolí jinak a musí se použít chladicí kapaliny, není jiné východisko. Chladicí kapalina se používá u obrábění tenkostěnných obrobků, pro zachování tvarových přesností, dobrý odvod třísek. [13]



Obrázek 24: *Hřebenovité trhliny na ostří* [13]

Opatření proti vzniku hřebenových trhlin na ostří:

- snížení řezné rychlosti,
- zvolení houževnatějšího materiálu VBD,
- upuštění od chlazení kapalinou (možnost použití stlačeného vzduch pro odstranění třísek z místa řezu).

[13]

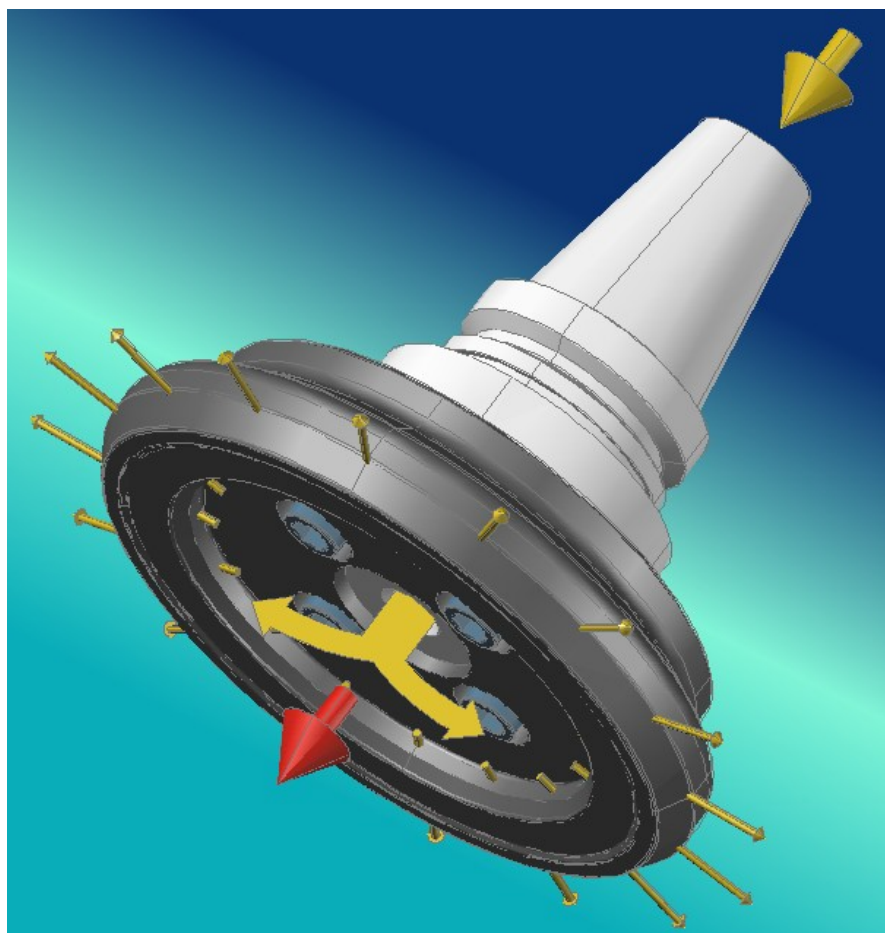


5.6 Obráběcí stroje umožňující vnitřní chlazení

Na trhu se začínají rozmáhat obráběcí stroje pro těžké hrubování o vysokých výkonech s vnitřním chlazením. Tyto stroje jsou ovšem stále za vysoké pořizovací náklady, proto se moc nerozmáhají v podnicích. Stále se používají stroje bez vnitřního chlazení a je využíváno vnějšího přívodu procesní kapaliny. Pokud obráběcí stroj umožňuje přívod procesního média dutým vřetenem přímo do vnitř nástroje, dosahují přívodní tlaky procesní kapaliny až 3 MPa. Jelikož se jedná už o dost velký tlak, musí se brát na zřetel a nesmí se opomenout při návrhu konstrukčních řešení. Mohlo by dojít k deformaci nástroje, dokonce i k uvolnění některých komponentů např. přetržení šroubů. A to by mohlo vést k poškození obráběcího stroje, v horším případě k poranění či dokonce smrti obsluhy stroje.

6 Návrh konstrukce včetně zpracování výkresové dokumentace

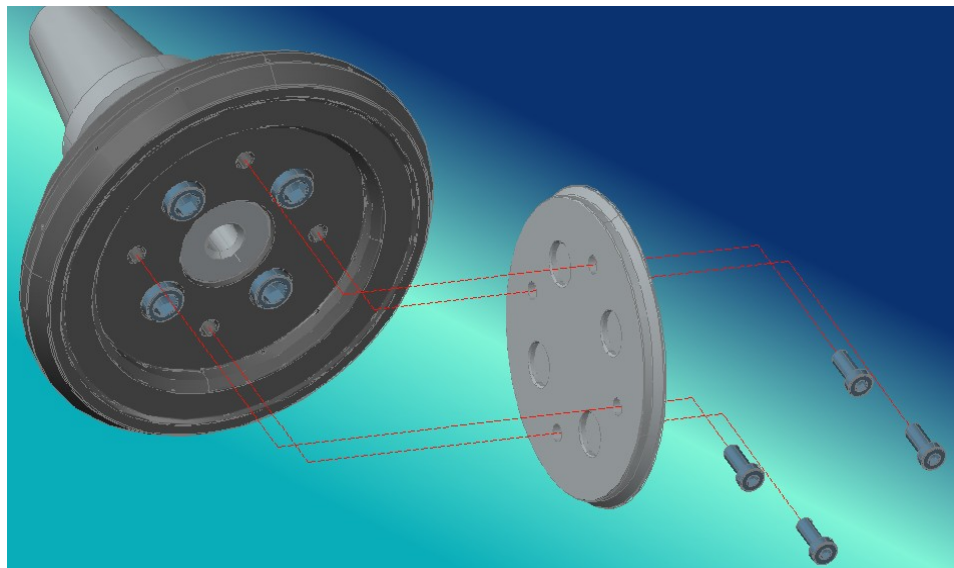
Přívod procesního média do frézovacího nástroje je dutým upínacím trnem ve směru žluté šipky na obrázku 25. Konstrukce frézy nedovoluje díky své velikosti a upínání tvořit uzavřenou nádobu. Proto byl požadavek firmy Pramet Tools takový, aby došlo k uzavření frézy zespodu po jejím ustavení a přišroubování k upínacímu trnu. Jelikož by bylo vnitřní chlazení bezvýznamné a veškerá procesní kapalina by unikala směrem červené šipky, což je pro nás nežádoucí. Procesní kapalina se musí usměrnit v dutině frézy směrem spodní žluté šipky, aby byla přiváděna ke špičce bříty. Na obrázku 25 je fréza zobrazena pouze jako polotovár bez vyfrézovaných zubových mezer a lůžek pro VBD. Znázorněné vyvrtané díry přívodu procesní kapaliny do místa řezu jsou pouze ilustrační z důvodu lepšího seznámení se zadaným problémem a požadavkem firmy. Jako první se na fréze musí vyřešit utěsnění frézy, aby nedocházelo k únikům kapaliny a kapalina byla přiváděna do potřebných míst. Po navržnutí chlazení bude teprve fréza osazena VBD. Před osazením VBD se musí na fréze vyfrézovat zubové mezery a vytvořit prostředí pro mechanické upnutí destičky.



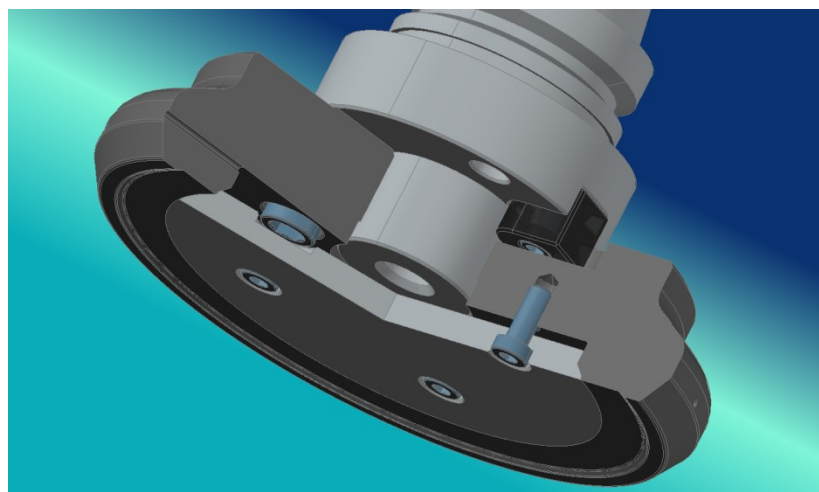
Obrázek 25: Znázornění principu chlazení

6.1 Konstrukce utěsnění pomocí kruhového víka a šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem

Podstatou tohoto konstrukčního řešení je, že na fréze zespodu je vysoustružená kuželová plocha. Stejná kuželová plocha je i na kruhovém víku. Tyhle dvě kuželové plochy na sebe dosednou. Víko je připevněno na tělo frézy pomocí 4 šroubů se sníženou válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Jedná se o šrouby M10 ve třídě pevnosti 12.9 a normalizované dle DIN 7984. Po utažení šroubu dojde na kuželových plochách ke kontaktu a tím i k těsnění proti úniku kapaliny. Na obrázku 26 je varianta frézy o průměru 250 mm. Pro větší průměry fréz (vyráběno v průměrech 160 – 500 mm), bude zapotřebí více šroubů na upnutí víka.



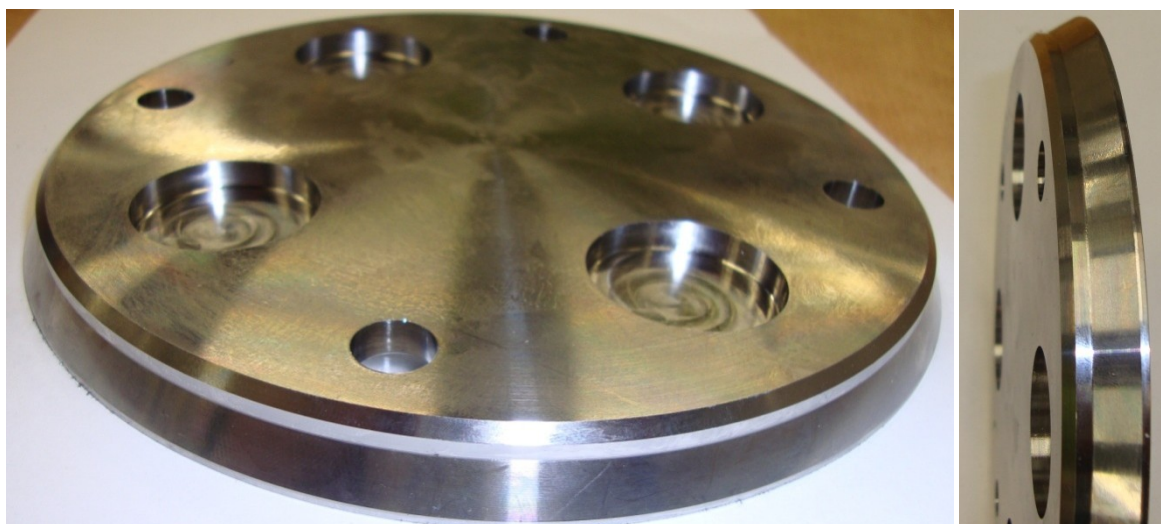
Obrázek 26: Schéma upnutí víka na sestavu trn - fréza



Obrázek 27: Přišroubované víko na tělo frézy v řezu

Víko frézy je opatřeno čtyřmi kruhovými odlehčeními (obr. 28), aby při dotahování víko dosedlo správně na kuželovou plochu a neopíralo se o upínací šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem, které slouží pro upnutí frézy na trn. Po dotažení víka vznikne dutina mezi tělesem frézy a samotným víkem. Tuhle dutinou proudí chladicí kapalina do stran těla frézy a je vyvrtanými otvory přivedena do každé zubové mezery. Minimální průměr víka je v dosedací ploše 170 mm. Nebylo by možné vyvrtat přívodové kanálky do zubových mezer, jelikož mají jen 3 mm na průměru a hloubka díry je omezena délkou vrtáku 40 mm. Výkresová dokumentace polotovaru frézovací hlavy a víka je v Příloze A.

Tohle konstrukční řešení bylo už zadáno firmou Pramet Tools na výrobu zkušebních vzorků. Na obrázku 28 a obrázku 29 jsou reálné fotografie vyrobeného konstrukčního řešení.



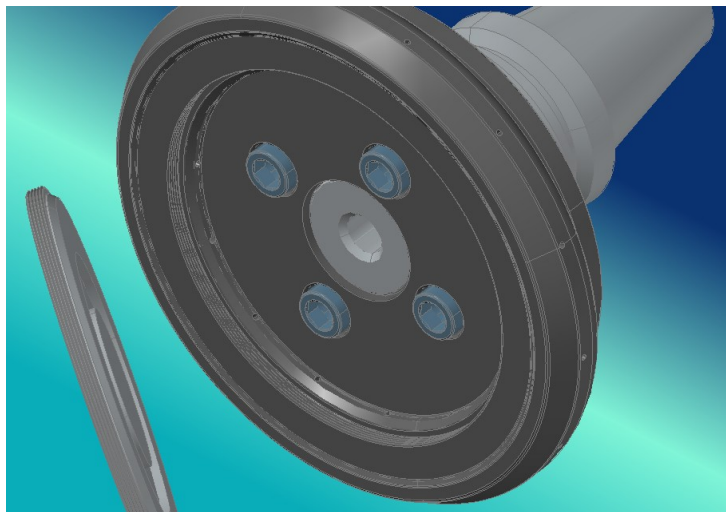
Obrázek 28: *Utěsňující víko s kuželovou styčnou plochou*



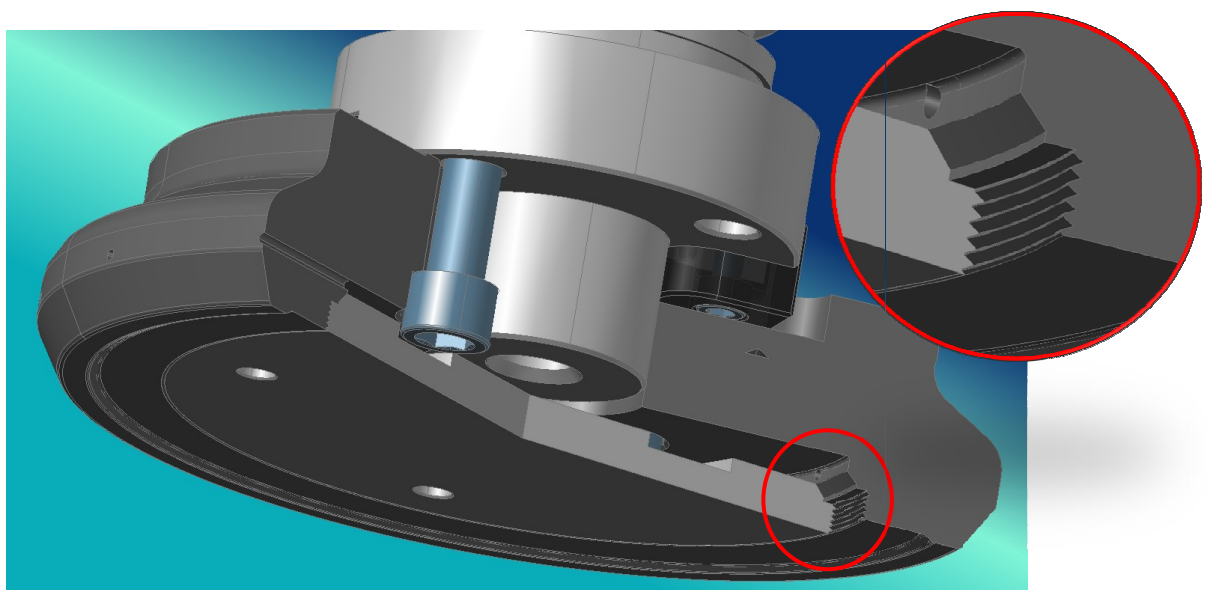
Obrázek 29: *Styčná plocha na fríze, přiložené víko*

6.2 Konstrukce utěsnění pomocí kruhového víka se závitem po obvodě víka

Podstatou této metody je upnutí víka na tělo frézy pomocí vysoustruženého závitu po obvodu víka. Stejný závit má i tělo frézy, závit lze vidět na obrázku 31. Víko je opatřeno čtyřmi otvory z vnější strany, aby mohlo dojít k dotažení víka pomocí klíče. Víko ze strany dutiny je opatřeno dosedací kuželovou plochou (stejná dosedací plocha je i v těle frézy), aby po dotažení nedocházelo k únikům procesní kapaliny. Dále víko ze strany dutiny je odlehčeno mezi dvěma kruhovými roztečemi, aby mohlo dojít k utažení víka k tělu frézy. Bez odlehčení by nedošlo k dotažení, jelikož by se víko dotklo hlav šroubů, kterými je upnuto tělo frézy k upínači. Výkresová dokumentace víka a frézy viz Příloha B. Kontrola víka je uvedena v následující kapitole.



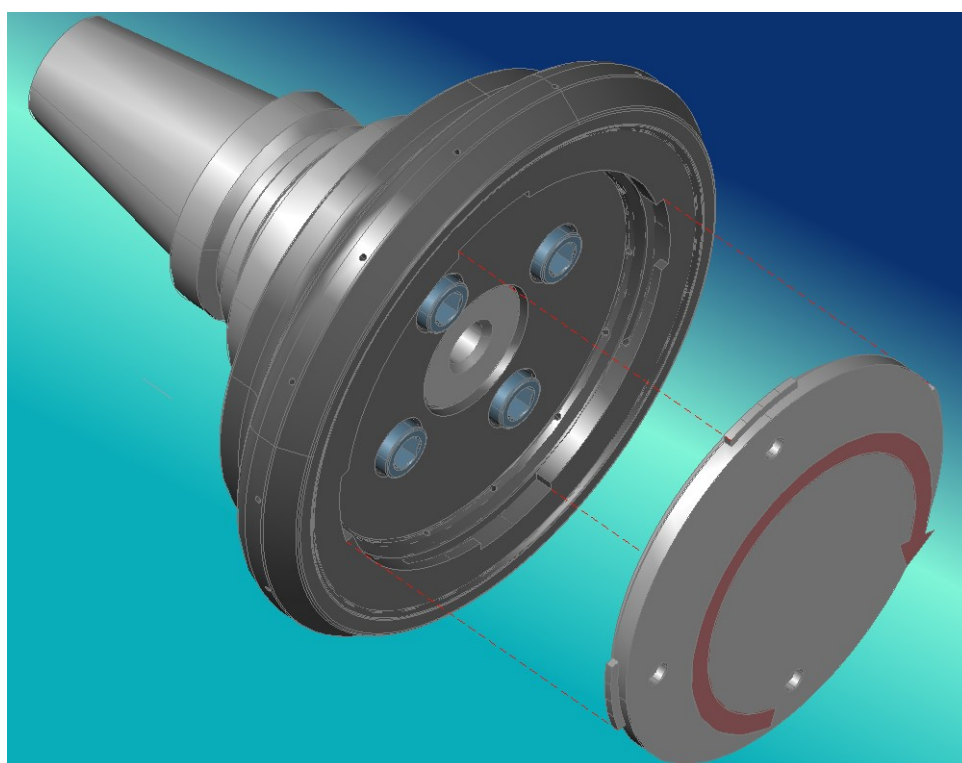
Obrázek 30: Těsnění pomocí víka se závitem po obvodě



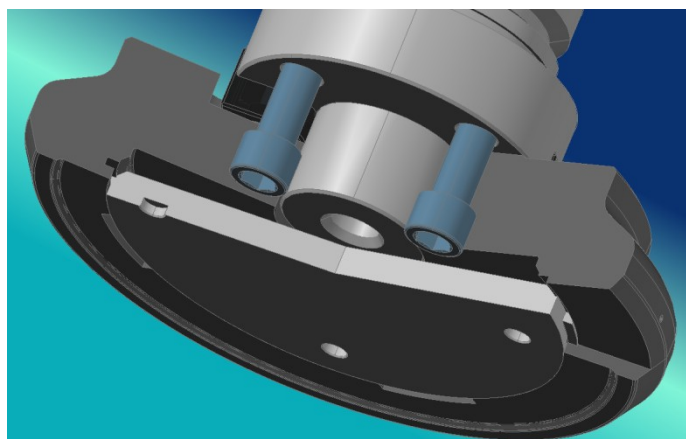
Obrázek 31: Tělo frézy v řezu s detailem upnutí víka

6.3 Konstrukční řešení pomocí víka opatřeného 4 zkosenými segmenty

Podstatou je víko, které je opatřené čtyřmi segmenty na obvodu a dosedací kuželovou plochou, aby došlo k zabránění úniku procesní kapaliny. V těle frézy jsou vyfrézovány vodící drážky, do kterých zapadají segmenty, které jsou na víku. Na obrázku 32 je vidět dráhu upínání víka. Víko se po dosednutí musí klíčem dotáhnout ve směru šipky. Segmenty jsou ve tvaru klínu o stoupání 1° . Segmenty ve tvaru klínu po dotažení vytvoří tlakové spojení a díky tomu nedojde k samovolnému povolení víka od těla frézy. Výkresová dokumentace ke konstrukčnímu řešení je v Příloze C.



Obrázek 32: Konstrukce víka s klínovými utahovacími segmenty



Obrázek 33: Klínové segmenty



6.4 Konstrukce těsnění mezi víkem a frézou

V úvahu připadalo pryžové těsnění ve tvaru O-kroužku, nebo vyseknutého mezikruží z pryže s obdélníkovým průřezem. Na těle frézy by se muselo obrobit osazení, stejné osazení pro pryžové těsnění by muselo být i na víku. Jednalo by se o další náklady spojené s výrobou frézy. Pryžové těsnění bylo ovšem zamítnuto. Důvod odstoupení od těsnění pryží byl, že by se na těsnění při kompletaci nástroje mohlo zapomenout. Dalším důvodem je, pokud by se obrábělo bez použití procesního média, že by mohlo dojít vlivem teplot (které vznikají při úběru materiálu) k porušení těsnění či jeho roztavení a zapečení, jak na víko, tak i na tělo frézy. Malé netěsnosti nejsou na škodu. Do nástroje je přiváděné velké množství procesní kapaliny, takže nepatrné úniky kapaliny mezi víkem a frézou jsou zanedbatelné.

Těsnění je navrženo pomocí kuželových ploch. Kuželová plocha pod úhlem 45° je vysoustružena na těle frézy i na víku. Tyto kuželové plochy o stejném průměru do sebe zapadnou, vlivem dotažení dle konstrukční varianty (pomocí šroubů, závitu na obvodě víka nebo klínových segmentů) dojde k přesnému dosednutí a zatlačení kuželových ploch víka a těla frézy. Přesné konstrukce víka a těla frézy jsou ve výkresové dokumentaci. Viz přílohy.



7 Pevnostní kontrola navržené konstrukce

Kontrola navržených konstrukcí bude spočívat hlavně v kontrole upevnění víka k tělu frézy, aby nedošlo k jeho uvolnění působením tlaku chladicí kapaliny. U první varianty řešení bude provedena kontrola šroubů a výpočet minimální tloušťky víka. Ve druhé variantě bude počítáno víko jako jeden samostatný šroub, protože víko je připevněno k tělu frézy pomocí závitu po celém obvodu víka. Třetí varianta řešení bude kontrolována na pevnost segmentů, které drží víko na tělu frézy. U všech variant bude provedena kontrola minimální tloušťky víka.

Frézy se vyrábějí v průměru od 160 do 500 mm. Přívodové kanálky chladicí kapaliny do místa řezu jsou vyvrtány kolmo na osu frézovací hlavy. Průměr přívodních kanálků je od 3 do 5 mm. Proto je omezena délka přívodového kanálku od 30 do 50 mm dle délky vrtáku. V navrhované konstrukci a výkresové dokumentaci je pouze fréza o průměru 250 mm s průměrem víka 166 mm v místě působení přetlaku od procesní kapaliny. V pevnostní kontrole bude provedena kontrola pro všechny průměry fréz. Frézy jsou vyráběny v průměrech 160, 200, 250, 315, 400 a 500 mm. Každý průměr frézy bude mít jiný průměr víka z důvodu omezení délkou vrtáku. Jinak by se dalo navrhnout jedno univerzální víko pro všechny průměry fréz.

Stanovené minimální průměry vík:

Ø frézy [mm] - Ø víka [mm]

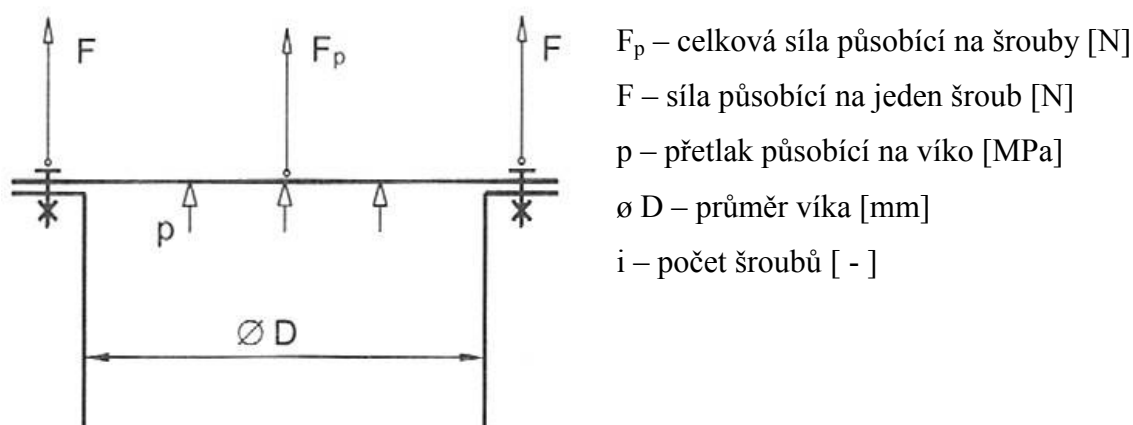
160	- 90
200	- 130
250	- 166
315	- 220
400	- 300
500	- 400

7.1 Kontrola 1. varianty

První varianta spočívá v upnutí víka k tělu frézy pomocí šroubů. Soustava frézy s víkem je brána jako uzavřená tlaková nádoba o vnitřním tlaku 3 MPa. Tlak nebude 3 MPa (bude nižší), protože ve fréze jsou vyvrtány přívodové kanály do místa řezu. U kontrolního výpočtu bude pohlíženo na soustavu jako na uzavřenou nádobu, tudíž bude počítáno s tlakem 3 MPa.

7.1.1 Výpočet počtu šroubů, síly působící na víko

Víko frézy s průměrem D je připevněno pomocí určitého počtu šroubů. Pro průměr 160 a 200 jsou použity šrouby se sníženou válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M10 o pevnosti 8.8, pro frézy 250, 315, 400 a 500 jsou použity šrouby se sníženou válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M10 o pevnosti 12.9. Přetlak procesního média v těle frézy je 3 MPa.



Obrázek 34: Působení sil na víko tlakové nádoby [10]

Průřez S šroubu M10:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad [10]$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{9,35 + 8,773}{2} \right)^2$$

$$S = 64,49 \text{ mm}^2$$

d_2 – střední průměr závitu [mm]

d_3 – malý průměr závitu [mm]



Dovolené napětí šroubu v tahu σ_{Dt} :

Jelikož jsou použity dva typy pevnosti šroubů, musí být tyto typy spočítány každý zvlášť.

$$\sigma_{Dt} = (0,1 \div 0,3) \cdot \sigma_{Rp0,2} \text{ volím } 0,3$$

$$\sigma_{Dt} = 0,3 \cdot 640$$

$$\sigma_{Dt} = 192 \text{ MPa pro šroub o pevnosti 8.8}$$

$$\sigma_{Dt} = 0,3 \cdot 1080$$

$$\sigma_{Dt} = 324 \text{ MPa pro šroub o pevnosti 12.9}$$

$$\sigma_{Dt} - \text{pro šrouby s předpětím [10], } \sigma_{Dt} = (0,1 - 0,3) \cdot \sigma_{Rp0,2} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{Rp0,2} - \text{mez kluzu jmenovitá [MPa]}$$

$$\text{pro pevnost 8.8 } \sigma_{Rp0,2} = 640 \text{ MPa [9]}$$

$$\text{pro pevnost 12.9 } \sigma_{Rp0,2} = 1080 \text{ MPa [9]}$$

Celková síla působící na šrouby F_p :

$$F_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad [10]$$

$$F_{p250} = \frac{\pi \cdot 166^2}{4} \cdot 3$$

$$F_{p250} = 64927,3 \text{ N}$$

$$F_{p160} = 19085,2 \text{ N}$$

$$F_{p200} = 39819,7 \text{ N}$$

$$F_{p315} = 114039,8 \text{ N}$$

$$F_{p400} = 212057,5 \text{ N}$$

$$F_{p500} = 376991,1 \text{ N}$$

D – průměr víka v místě působení přetlaku [mm]:

Ø frézy → Ø D víka: Ø160 → Ø90,

Ø200 → Ø130,

Ø250 → Ø166,

Ø315 → Ø220,

Ø400 → Ø300,

Ø500 → Ø400.

p – přetlak, nejvyšší běžně používaný 3 MPa

Potřebný počet šroubů i:

$$i = \frac{F_p}{S \cdot \sigma_{Dt}} \quad [10]$$

$$i_{250} = \frac{F_{p250}}{S \cdot \sigma_{Dt}}$$

$$i_{250} = \frac{64927,3}{64,49 \cdot 324}$$

$$i_{250} = 3,1 \Rightarrow \text{potřebný počet šroubů pro frézu } \varnothing 250 \text{ jsou 4.}$$

F_p – síla působící na všechny šrouby [N]

S – výpočtový průřez šroubu M10, $S = 64,49 \text{ mm}^2$

σ_{Dt} – dovolené napětí šroubu v tahu:

pro šroub o pevnosti 8.8 $\sigma_{Dt} = 192 \text{ MPa}$, (160,200)

pro šroub o pevnosti 12.9 $\sigma_{Dt} = 324 \text{ MPa}$, (250-500)



$i_{160} = 1,6 \Rightarrow$ *potřebný počet šroubů pro frézu Ø 160 jsou 2.* Ale z důvodu lepšího rozložení sil při upínání volím potřebný počet šroubů 4.

$i_{200} = 3,2 \Rightarrow$ *potřebný počet šroubů pro frézu Ø 200 jsou 4.*

$i_{315} = 5,5 \Rightarrow$ *potřebný počet šroubů pro frézu Ø 315 je 6.*

$i_{400} = 10,1 \Rightarrow$ *potřebný počet šroubů pro frézu Ø 400 je 11.* Volím 12 šroubů z hlediska lepšího rozložení sudého počtu šroubů na průměru víka.

$i_{500} = 18,1 \Rightarrow$ *potřebný počet šroubů pro frézu Ø 500 je 19.* Volím 20 šroubů z hlediska lepšího rozložení sudého počtu šroubů na průměru víka.

Z hlediska snížení počtů šroubů u frézy o průměru 400 a 500, by bylo vhodné navrhnout šrouby o větším průměru např. M16.

Maximální možný vnitřní přetlak na víko p_{\max} :

Jedná se o maximální možný přetlak přiváděné chladicí kapaliny do vnitřku nástroje, který dovolí pevnost šroubů v tahu. Kdybychom chtěli použít větší pracovní přetlak přiváděného média, museli bychom zvětšit počet šroubů, nebo jejich průměr.

$$p_{\max 250} = \frac{4 \cdot i_{250} \cdot \sigma_{Dt 12,9} \cdot S}{\pi \cdot D_{250}^2} \quad [10] \quad i - \text{počet šroubů skutečný}$$

$$p_{\max 250} = \frac{4 \cdot 4 \cdot 324 \cdot 64,49}{\pi \cdot 166^2}$$

$$p_{\max 250} = 3,86 \text{ MPa}$$

$$p_{\max 160} = 7,76 \text{ MPa}$$

$$p_{\max 200} = 3,73 \text{ MPa}$$

$$p_{\max 315} = 3,31 \text{ MPa}$$

$$p_{\max 400} = 3,55 \text{ MPa}$$

$$p_{\max 500} = 3,33 \text{ MPa}$$

Navržené šrouby u všech variant vyhovují s mírnou rezervou tlaku.

Varianta číslo 1 byla již vyrobena a byla provedena tlaková zkouška pro frézu o průměru 250 mm. Maximální tlak přivedený do nástroje byl 7,2 MPa. A nedošlo k žádným deformacím šroubů ani víka nástroje. Zkouška byla prováděna u 100% utěsněné frézy, aby nedocházelo ke zkreslování výsledků. Zkouška byla prováděna za stálého tlaku a výdrži na daném tlaku po stanovenou dobu trvání.

7.1.2 Stanovení minimální výpočtové tloušťky víka t_{\min}

$$t_{\min 250} = \frac{p \cdot D_{250}}{2 \cdot \sigma_{Dt} - p} + z \quad [10]$$

$$t_{\min 250} = \frac{3 \cdot 166}{2 \cdot 300 - 3} + 2$$

$$t_{\min 250} = 2,83 \text{ mm}$$

$$t_{\min 160} = 2,45 \text{ mm}$$

$$t_{\min 200} = 2,65 \text{ mm}$$

$$t_{\min 315} = 3,11 \text{ mm}$$

$$t_{\min 400} = 3,51 \text{ mm}$$

$$t_{\min 500} = 4,01 \text{ mm}$$

p – přetlak v nástroji [MPa]

D – průměr víka v místě kontaktu s chladicí kapalinou

σ_{Dt} – dovolené napětí v tahu materiálu víka

$\sigma_{Dt} = (0,1 - 0,3) \cdot R_e$, volím $0,3 \cdot R_e$

$\sigma_{Dt} = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ MPa}$

R_e pro materiál 16 343 je 1000 MPa [9]

z – přídatný součinitel na opotřebení [mm]

Tyto vypočítané minimální tloušťky víka platí pro všechny tři konstrukční varianty. Navržená víka mají tloušťku 12 mm u všech variant a průměrů fréz. Víka jsou zeslabena odlehčením pro šrouby, odlehčením pro upínací šrouby nástroje a odlehčením vyvrtanými dírkami pro klíč, které slouží pro utahování víka frézy k tělu frézy. Víka po zeslabení dosahují v místě svého nejmenšího průřezu tloušťky 8 mm.

Všechny vypočítané minimální tloušťky vík jsou menší než navržená tloušťka vík u všech průměrů frézovacích hlav. Po zvýšení přívodního tlaku dovnitř nástroje, by se museli všechny vypočítané minimální tloušťky přepočítat a navrhnout nové konstrukční řešení vík.

7.2 Kontrola 2. varianty

Víko o průměru D je připevněno na tělo frézy pomocí závitu po obvodě víka. Výpočet pevnosti spoje bude totožný s variantou 1, jen s rozdílem, že víko drží jako by jeden šroub o průměru víka. V kontrole budou provedeny výpočty plochy průřezu závitu na víku, aby mohlo dojít k výpočtu maximálního přípustného přetlaku, který by měl přesahovat 3 MPa.

Celková síla působící na závit víka:

Síly u všech průměrů budou stejně velké jako u předchozí varianty řešení. Proto nemá význam tyto síly znovu počítat, a budou převzaty z kontroly 1. varianty.

$$F_{p\ 160} = 19085,2\ N$$

$$F_{p\ 200} = 39819,7\ N$$

$$F_{p\ 250} = 64927,3\ N$$

$$F_{p\ 315} = 114039,8\ N$$

$$F_{p\ 400} = 212057,5\ N$$

$$F_{p\ 500} = 376991,1\ N$$

Výpočtový průřez závitu na obvodě víka S :

Průměr frézy [mm]	160	200	250	315	400	500
Průměr víka v místě působení tlaku [mm]	90	130	166	220	300	400
Závit na víku, stoupání závitu 1,5	M102	M142	M178	M232	M312	M412
Malý průměr závitu d_3 [mm]	100,16	140,16	176,16	230,16	310,16	410,16
Střední průměr závitu d_2 [mm]	101,026	141,026	177,026	231,026	311,026	411,026



$$S_{250} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_{2\ 250} + d_{3\ 250}}{2} \right)^2 \quad [10]$$

$$S_{250} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{177,026 + 176,16}{2} \right)^2$$

$$S_{250} = 24492,7 \text{ mm}^2$$

$$S_{160} = 7947,4 \text{ mm}^2$$

$$S_{200} = 15524,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{315} = 41762,1 \text{ mm}^2$$

$$S_{400} = 75765,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{500} = 132407,6 \text{ mm}^2$$

Maximální možný vnitřní přetlak na víko p_{\max} :

Jedná se o maximální možný přetlak přiváděné chladicí kapaliny do vnitřku nástroje, který dovolí pevnost šroubu v tahu.

$$p_{\max\ 250} = \frac{4 \cdot i \cdot \sigma_{Dt} \cdot S_{250}}{\pi \cdot D_{250}^2} \quad [10]$$

$$p_{\max\ 250} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 300 \cdot 24492,7}{\pi \cdot 166^2}$$

$$p_{\max\ 250} = 339,5 \text{ MPa}$$

$$p_{\max\ 160} = 374,8 \text{ MPa}$$

$$p_{\max\ 200} = 350,9 \text{ MPa}$$

$$p_{\max\ 315} = 329,6 \text{ MPa}$$

$$p_{\max\ 400} = 321,6 \text{ MPa}$$

$$p_{\max\ 500} = 316,1 \text{ MPa}$$

$i = 1$, protože je víko bráno jako jeden šroub

σ_{Dt} – pro šrouby s předpětím [10],

$\sigma_{Dt} = (0,1 - 0,3) \cdot \sigma_{Rp\ 0,2}$ [MPa], volím 0,3

$\sigma_{Rp\ 0,2}$ – mez kluzu jmenovitá [MPa], musí se brát z materiálu víka, který je 16 343,

$\sigma_{Rp\ 0,2} = 1000 \text{ MPa}$ [9]

$\sigma_{Dt} = 0,3 \cdot 1000$

$\sigma_{Dt} = 300 \text{ MPa}$

Závity na víku ve všech případech průměrů fréz splňují mnohonásobně stanovený tlak vyvolaný tlakem přivodního média do vnitřku nástroje $p = 3 \text{ MPa}$. Závít na víku je značně předimenzován, je to dáno velkým průměrem závitu po obvodě víka.

7.3 Kontrola 3. varianty

Třetí konstrukční varianta spočívá v utěsnění frézy a vytvoření uzavřené nádoby pomocí víka opatřeného po obvodě čtyřmi klínovými segmenty. Tyto segmenty budou kontrolovány na stříh. Ke stříhu dochází působením přetlaku, který je vyvolán přívodem procesní kapaliny dovnitř nástroje a působí tlakovou silou na víko.

Průměr frézy [mm]	160	200	250	315	400	500
Počet segmentů [mm]	4	4	4	4	4	4
Délka segmentu l [mm]	20	30	40	50	70	110
Tloušťka segmentů t [mm]	3,5	3,5	3,5	5,5	5,5	6,5
Výpočtový průřez $S_2 = l \cdot t$ [mm ²]	70	105	140	275	385	715

Tlak na segmenty v místě stříhu p:

$$p_{250} = \frac{F_{p\ 250}}{4 \cdot S_{2\ 250}}$$

$$p_{250} = \frac{64927,3}{4 \cdot 140}$$

$$p_{250} = 115,9\ MPa$$

$$p_{160} = 68,2\ MPa$$

$$p_{200} = 94,8\ MPa$$

$$p_{315} = 103,7\ MPa$$

$$p_{400} = 137,7\ MPa$$

$$p_{500} = 131,8\ MPa$$

F_p – síla působící na víko [mm], stejná jako u předchozí varianty 1 i 2.

S_2 – výpočtový průřez jednoho segmentu [mm²]

$$p_D = \sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot R_e}{k} \cdot c_{II} \quad [10]$$

$$p_D = \frac{0,6 \cdot 1000}{1,85} \cdot 0,85$$

$$p_D = 275,7\ MPa$$

p_D – dovolený tlak v místě stříhu na segment

R_e – mez pevnosti v kluzu materiálu víka 16 343,

$R_e = 1000\ MPa$

c_{II} – součinitel snížení napětí, pro ocel $c_{II} = 0,85$ [9]

k – koeficient bezpečnosti, pro ocel 1,7 – 2, volím

$k = 1,85$

$p \leq p_D \Rightarrow$ vyhovuje ve všech případech.

**Kontrola segmentů na smyk:**

$$\tau_s = \frac{F_p}{S_2} \leq \tau_{Ds} \quad [10]$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot 275,7$$

$$\tau_{Ds} = 165,4 \text{ MPa}$$

F_p – síla působící na víko [mm], stejná jako u předchozí varianty 1 i 2.

S_2 – výpočtový průřez jednoho segmentu [mm²]

$$\tau_{s\ 250} = \frac{F_{p\ 250}}{4 \cdot S_{2\ 250}}$$

$$\tau_{s\ 250} = \frac{64927,3}{4 \cdot 140}$$

$$\tau_{s\ 250} = 115,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s\ 160} = 68,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s\ 200} = 94,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s\ 315} = 103,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s\ 400} = 137,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s\ 500} = 131,8 \text{ MPa}$$

$\tau_s \leq \tau_{Ds} \Rightarrow$ vyhovuje pro každé víko, kontrola segmentů na smyk je ve všech případech vyhovující.

8 Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení

Navržené konstrukce vnitřního chlazení budou z hlediska ekonomického dražší na výrobu. Každá fréza musí mít upravený tvar pro dosedací plochy víka o dané přesnosti. Náklady na výrobu budou vyšší i díky výrobě víka, které nejsou konstrukčně jednoduché a musí se dodržet předepsané výkresové tolerance. U první navržené varianty bude pořizovací cena frézy s vnitřním chlazením ještě vyšší o nákup šroubů o pevnosti 12.9 dle DIN 7984. Pro zákazníka to znamená vyšší pořizovací náklady frézovací hlavy s vnitřním chlazením v porovnání nákladů na nástroj bez vnitřního chlazení. Vyšší pořizovací náklady nástroje vedou ke zvýšení produktivity obrábění. Pořizovací náklady na frézu s vnitřním chlazením jsou sice větší, ale fréza umožní díky chlazení vyšší produktivitu práce. Vyšší produktivita práce bude spojena s delší trvanlivostí VBD, které budou při procesu obrábění chlazeny a částečně mazány. V kontaktu mezi VBD a odváděnou třískou bude sníženo tření mazacími účinky chladicí kapaliny. Dále chlazení umožňuje zvýšit produktivitu výroby zvýšením řezných parametrů se stejnou dobou trvanlivosti VBD, jako při obrábění za sucha. Fréza s vnitřním chlazením má sice vyšší pořizovací náklady, ale dojde k úsporám spojené s náklady na elektrickou energii, díky mazacímu účinku chladicí kapaliny, dojde ke snížení potřebného výkonu na frézování (snížení tření mezi nástrojem a obrobkem), delší trvanlivost nástroje a zvýšení řezných parametrů. Tyto uvedené vlivy se projeví v daleko nižších nákladech spojené s výrobou jednoho kusu.

Z technického hlediska bude docházet k lepšímu odvodu třísek z místa řezu. To znamená, že nebude docházet ke zvyšování drsnosti obrobeného povrchu vlivem třísek, které se mohou dostat pod nástroj a svou ostrostí zvyšovat drsnost a kvalitu obrobené plochy. Díky chlazení nebude docházet k teplotní roztažnosti obráběné součásti. Z toho plyne vyšší dodržení přesnosti požadovaných rozměrů dle výkresové dokumentace obráběné součásti. Chlazení má ovšem velkou nevýhodu u těžkého hrubování, kde dochází k velkému úběru materiálu najednou (až 12 mm) a dochází ke vzniku vysokých teplot v místě řezu. Tyto vysoké teploty jsou nevýhodné pro vyměnitelné břitové destičky, u kterých dochází vlivem prudkého ochlazení chladicí kapalinou k velkým teplotním šokům. Prudké ochlazení VBD vede k vzniku trhlin a zkrácení času trvanlivosti VBD. Aby nedocházelo ke vzniku trhlin, musí se volit povlakované VBD s dostatečně silnou vrstvou povlaku a typem povlaku, který je navržen pro hrubování s přívodem chladicí kapaliny, aby nedocházelo ke vzniku hřebenovitých trhlin vlivem teplotních šoků.

9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vnitřní chlazení na čelní frézovací hlavě s upínáním na trn typ „C“. Fréza je vyráběna v průměrech 160, 200, 250, 315, 400 a 500 mm. Jednalo se pouze o vyřešení uzavření frézy zespodu pomocí konstrukčních variant vík. Firma Pramet Tools již tento typ fréz v katalogu nabízí, ale pouze bez vnitřního chlazení.

V úvodu práce je seznámení s danou problematikou, představení frézovací hlavy a upínače, na který se tato fréza upíná. Dále jsem v diplomové práci uvedl základy frézování, frézovací nástroje. Proběhlo obecné seznámení s procesními kapalinami. Hlavní částí práce je návrh konstrukce vnitřního chlazení frézovacích nástrojů. První navrženou variantou je víko s kuželovou dosedací plochou, které se připevňuje k tělu frézy pomocí šroubů se sníženou válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. U první varianty proběhly tlakové zkoušky pro průměr frézy 250 mm. Víko bylo připevněno na tělo frézy pomocí 4 šroubů M10 o třídě pevnosti 12.9. Maximální zkoušený přetlak byl 7 MPa, nedošlo k žádnému porušení jak víka tak ani šroubů, i přesto že byl použit hodně vysoký tlak. Maximální vnitřní tlak procesní kapaliny vyvolaný obráběcím centrem v dutině nástroje nepřevyšuje 3 MPa. S tímto tlakem 3 MPa, byly porovnány kontrolní výpočty navržených variant. Druhou navrženou variantou je konstrukce utěsnění těla frézy pomocí víka opatřeného po svém obvodu závitem. Jako těsnící prvek této varianty jsou kuželové plochy, které na sebe dosedají po dotažení víka. Třetí variantou konstrukce je víko opatřené klínovými segmenty po obvodu víka. Stejně klínové drážky jsou v těle frézy, pootočením víka o patřičný úhel dojde k jeho dotažení k tělu frézy. U všech variant byla provedena pevnostní kontrola navržených konstrukcí. Všechny navržené varianty splnili stanovené podmínky pevnosti.

Technicko-ekonomické zhodnocení navržených konstrukcí přineslo vyšší pořizovací náklady frézovací hlavy s vnitřním chlazením. To ovšem pro zákazníka přináší díky chlazení snížení nákladů na elektrickou energii (nižší řezné síly díky mazacím účinkům chladící kapaliny), nižší potřebný výkon pro obrábění. U vhodně zvolených destiček dochází díky chlazení k prodloužení jejich trvanlivosti. Můžou se volit vyšší řezné parametry obrábění za stejné trvanlivosti VBD s výsledkem vyšší produktivity práce. Díky chlazení dojde k vyšší jakosti obrobené plochy a lepšímu odvodu třísky z místa řezu. Ochlazován je i obrobek, a tak nedochází k jeho tepelné roztažnosti, která způsobuje nedodržení výkresových rozměrů a jejich tolerancí.

Seznam použité literatury

Monografie

- [1] ČILIKOVÁ, M., J. PILC a D. STANČEKOVÁ. *Řezné kvapaliny a ich aplikácie*. Žilina: EDIS, 2005. 150 s. ISBN 80-8070-428-7.
- [2] DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Frézování kovů*. Praha: SNTL, 1961. 87 s.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] JÜRGEN, Leopold. *Werkzeuge für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung*. Wien: HANSER, 1999. 300 s. ISBN 3-446-21072-5.
- [5] KUDELA, Miroslav. *Produktivní obrábění kovů*. Švédsko: Sandvik Coromat, 1997. 300 s.
- [6] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění*. Praha: Sandvik CZ, 1997. 1470 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [7] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Úvaly: ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [8] MAREK a jiné. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [9] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3: metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [10] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů- strojní součásti: učebnice pro střední průmyslové školy*. Brno: Computer Press, 2003. 157 s. ISBN 80-7226-311-0.
- [11] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: CERM, 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Elektronické zdroje

[12] MM Průmyslové spektrum. *Další člen do rodiny frézovacích nástrojů pro těžké hrubování* [online]. c2012, [cit. 2012-02-06]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/dalsi-clen-do-rodiny-frezovacich-nastroju-pro-tezke-hrubovani.html>>.

[13] Pramet. *Frézování 2012* [online]. c2012, [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Milling%202012%20CZ%20prog.pdf>>

[14] Pramet. *O firmě* [online]. c2012, [cit. 2012-01-29]. Dostupné z: <<http://www.pramet.com/indexad49.html?menu=firma1>>.

[15] SANDVIK Coromant. *Těžké čelní frézování* [online]. c2012, [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cscz/technical_guide/milling/application_overview/face_milling/heavy_duty_face_milling/Pages/default.aspx>.

[16] SANDVIK Coromant. *Frézování* [online]. c2012, [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/CZE/MTG_D.pdf>.

[17] T-support. *Jak zvolit správné chlazení pro obráběcí stroj* [online]. c2012, [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <<http://www.t-support.cz/t-support/index.php?rubrika=1150>>.

[18] Walter. *The new force of machining* [online]. c2012, [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <[http://www.walter-tools.com/sandvik/3422/Internet/S002255.nsf/7ca8cd558b939dbfc125693700332c1e/4f6ee88b493b2e9cc12574830024479c/\\$FILE/TTS_Handbk_en_Screen.pdf](http://www.walter-tools.com/sandvik/3422/Internet/S002255.nsf/7ca8cd558b939dbfc125693700332c1e/4f6ee88b493b2e9cc12574830024479c/$FILE/TTS_Handbk_en_Screen.pdf)>.

[19] Walter. *General Catalogue* [online]. c2012, [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <<http://www.waltertools.blaetterkatalog.de/gc2012/en/blaetterkatalog/pdf/complete.pdf>>

Periodikum

[20] *Průmyslové spektrum*. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. Speciální vydání. Praha: MM, 2004. ISSN 1212-2572.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Čelní fréza pro těžké hrubování (bez vnitřního chlazení).....	11
Obrázek 2: Upínací trn pro nástrčné frézy - TYP C.....	11
Obrázek 3: Strojové vybavení v počátcích firmy.....	12
Obrázek 4: Moderní vybavení současnosti.....	13
Obrázek 5: Frézovací hlava s VBD	15
Obrázek 6: Frézování obvodem.....	17
Obrázek 7: Frézování čelem	17
Obrázek 8: Sousledné frézování	18
Obrázek 9: Nesousledné frézování.....	18
Obrázek 10: Základní typy fréz	19
Obrázek 11: Tvary zubů fréz	20
Obrázek 12: Upínání fréz: a) stopkové: 1 – řezná část, 2 – stopka,	20
Obrázek 13: Příklady mechanického upnutí břitových destiček na fréze:	21
Obrázek 14: Fréza s destičkami SNMR 17 (fréza D = 200 mm).....	23
Obrázek 15: Frézovací nástroj pro oblast těžkého hrubování s destičkami	23
Obrázek 16: Schéma upnutí frézovacího nástroje na upínací trn typ "C"	25
Obrázek 17: Sestava ustavení nástroje na trnu v řezu	26
Obrázek 18: Varianta řešení společnosti Walter AG	27
Obrázek 19: a) hliníkové tělo, b) ocelové tělo, c) fréza se zapnutým chlazením.....	28
Obrázek 20: Vroubkované styčné plochy VBD a kazety	28
Obrázek 21: Hladící destičky	28
Obrázek 22: Hlava s vnitřním chlazením	34
Obrázek 23: Fréz. hlava – tryska chlazení	34
Obrázek 24: Hřebenovité trhlíny na ostří	35
Obrázek 25: Znázornění principu chlazení	37
Obrázek 26: Schéma upnutí víka na sestavu trn - fréza	38
Obrázek 27: Přišroubované víko na tělo frézy v řezu	38
Obrázek 28: Utěsňující víko s kuželovou styčnou plochou	39
Obrázek 29: Styčná plocha na fréze, přiložené víko	39
Obrázek 30: Těsnění pomocí víka se závitem po obvodě	40
Obrázek 31: Tělo frézy v řezu s detailem upnutí víka	40
Obrázek 32: Konstrukce víka s klínovými utahovacími segmenty.....	41
Obrázek 33: Klínové segmenty.....	41
Obrázek 34: Působení sil na víko tlakové nádoby.....	44



Seznam příloh

Příloha A – výkresová dokumentace víka a frézy první navržené varianty.

Příloha B – výkresová dokumentace víka a frézy druhé navržené varianty.

Příloha C – výkresová dokumentace víka a frézy třetí navržené varianty.



Poděkování

Na závěr bych chtěl poděkovat firmě Pramet Tools, s.r.o. za umožnění zpracování diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat svému konzultantovi diplomové práce panu Ing. Janu Vlčkovi za poskytnuté cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Ivanu Mrkvicovi za odborné vedení a poskytnuté konzultace.